

19.193



* 5 3 0 9 5 5 4 2 4 2 *

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

**COHERENCIA DEL PENSAMIENTO ESPONTÁNEO Y
CAUSALIDAD. EL CASO DE LA DINÁMICA ELEMENTAL.**

Tesis Doctoral presentada por:
Rufina Gutiérrez Goncet

Director:
Dr. D. Arturo de la Orden Hoz

**Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID, 1994**



CONSEJO
DE
UNIVERSIDADES

FICHERO MECANIZADO DE TESIS DOCTORALES

BASE DE DATOS TESEO

(Se ruega que el impreso se rellene a máquina o en letras mayúsculas legibles)

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE (MADRID)

CURSO ACADEMICO

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 | 3 | 9 | 4 |
|---|---|---|---|

FACULTAD O E.T.S. FACULTAD DE EDUCACION

AREAS DE CONOCIMIENTO

CLASIFICACION DE LA UNESCO

| | | | | | |
|---|---|---|--|--|--|
| 6 | 2 | 5 | | | |
|---|---|---|--|--|--|

| Area | | | | Línea | |
|------|---|---|---|-------|--|
| 5 | 8 | 0 | 3 | | |

| Area | | | | Línea | |
|------|--|--|--|-------|--|
| | | | | | |

Consignar los códigos de las áreas de conocimiento, según el catálogo elaborado por el Consejo de Universidades, en las que se sitúa el tema de la tesis

Consignar los códigos de la materia, o materias, que abarca el tema de la tesis, según la Nomenclatura Internacional para los Campos de la Ciencia y la Tecnología de la UNESCO.

<1>

?

?

?

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

?

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

?

DIRECTOR

| |
|-----------|
| Apellidos |
| ORDEN HOZ |

| |
|--------------|
| Nombre |
| ARTURO DE LA |

AUTOR

<2> (15)

| |
|------------------|
| Apellidos |
| GUTIERREZ GONCET |

| | |
|--------|---------|
| Nombre | D.N.I. |
| RUFINA | 2822254 |

TRIBUNAL

<6>

Dr.

| |
|------------|
| Apellidos |
| PICO MARIN |

| |
|--------|
| Nombre |
| CARLOS |

Presidente

Dr.

| |
|-----------|
| Apellidos |
| OGBORN |

| |
|--------|
| Nombre |
| JOHN |

V

Dr.

| |
|----------------|
| Apellidos |
| MEDINA RIVILLA |

| |
|---------|
| Nombre |
| ANTONIO |

O

Dr.

| |
|--------------|
| Apellidos |
| LOPEZ FRANCO |

| |
|--------|
| Nombre |
| ELOISA |

C

Dr.

| |
|---------------|
| Apellidos |
| GARCIA GARCIA |

| |
|----------|
| Nombre |
| MERCEDES |

A

I

C

S

Secretario

CALIFICACION ☒ A.- APTO. B.- APTO CUM LAUDE. C.- OTRAS MENCIONES

Por unanimidad

A mis padres. A toda mi familia. A mis amigos. Todos ellos hicieron posible que ésto llegara a buen término.

Esta tesis se realizó con la ayuda de una beca concedida por la Fundación Santa María, a quien quiero agradecer su confianza y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la solidaridad y apoyo constante de muchas personas. Todas ellas están en este momento en mi memoria y aunque no sea posible mencionarlas a todas, cada una sabe bien a quiénes me refiero. Pero hay algunas a las que quiero agradecer expresamente su ayuda:

El profesor Arturo de la Orden ha sido mi punto de referencia continuo. Las discusiones con él, sus consejos y su confianza, me han ido asegurando y potenciando, hasta hacer posibles estos resultados.

El profesor Jon Ogborn, del Instituto de Educación de Londres, estuvo también desde la gestación de esta tesis. Ha supuesto el estímulo constante, el desafío, la apertura hacia la novedad. Cada conversación con él me proporcionó suficiente placer intelectual como para compensarme del esfuerzo.

Joan Bliss, del Kings College de Londres, me transmitió parte de su habilidad para llevar a cabo las entrevistas con la técnica de *teachbak*. Y más que su ciencia, aprendí de ella un estilo cercano, capaz de hacer amable la tarea investigadora.

A Mayra Serrano, del Departamento de Didáctica de las Ciencias del IEPS, le debo su atención, su apoyo incondicional, las discusiones de cada día. Estuvo cercana en las horas altas y en las horas bajas. Y siempre tiró de mí en cada desánimo y se alegró conmigo en cada esperanza.

A M^a Dolores Peralta, que estuvo al quite y supo sacarme de cada *impasse* y de cada duda en las horas finales.

A M^a Angeles Crespo, Constanza de la Paz y M^a del Carmen López, profesoras que me proporcionaron los alumnos con los que trabajé. Sin su ayuda la recogida de datos me hubiera resultado muy costosa.

A todas mis compañeras de trabajo del IEPS, que me comprendieron, me sustituyeron y aguantaron mis buenos y malos humores a lo largo de estos años. A las secretarías Ana Torreveano y Ana Millán, cuya eficacia profesional puse a prueba tantas veces.

Por último quiero agradecer a la Fundación Santa María que me concediera una beca para la realización de este trabajo. Ello me permitió dedicar tiempos exclusivos a su elaboración, viajar y adquirir materiales.

INDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| PARTE I. DATOS PARA DEFINIR EL PROBLEMA. REVISION DE LA LITERATURA PERTINENTE | 1 |
| 1. EN TORNO A LA COHERENCIA-INCOHERENCIA DEL PENSAMIENTO ESPONTANEO | 3 |
| 1.1. El pensamiento de los alumnos..... | 3 |
| 1.2. Las creencias de los investigadores..... | 6 |
| 1.3. El estatus de las ideas espontáneas..... | 9 |
| 1.4. Primera delimitación del problema a estudiar | 11 |
| 1.4.1. El tema causal en Filosofía y Psicología | 13 |
| 1.5. Nueva delimitación del problema..... | 19 |
| 1.5.1. El tema causal en la ciencia actual | 19 |
| 1.5.2. Formulación del problema a investigar..... | 27 |
| 2. LA CAUSALIDAD EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA MODELIZACION DEL SENTIDO COMUN | 31 |
| 2.1. "The frame problem" | 31 |
| 2.2. Causalidad y sistemas de inferencia..... | 32 |
| 2.3. Causalidad y Física de sentido común..... | 33 |
| 2.3.1. El manifiesto de la Física Ingenua..... | 33 |
| 2.3.2. La Física cualitativa | 34 |
| 2.4. El proyecto de Física Cualitativa de de Kleer y Brow..... | 36 |
| 2.4.1. Qué es un modelo mental | 36 |
| 2.4.2. El modelo mental mecánico de de Kleer y Brow | 40 |
| 2.5. Aportaciones específicas..... | 57 |
| 3. LA CAUSALIDAD EN LA INVESTIGACION EN DIDACTICA DE LAS CIENCIAS..... | 59 |
| 3.1. Las teorías causales y el estudio del pensamiento causal..... | 59 |
| 3.1.1. Las "Teorías causales" de J. I. Pozo..... | 60 |
| 3.1.2. Los "marcos alternativos" de R. Driver..... | 67 |
| 3.1.3. Comentario conjunto..... | 74 |
| 3.2. Interpretación causal de las ideas de los sujetos..... | 75 |
| 3.2.1. B. Andersson: la causalidad como Gestalt Experiencial | 76 |
| 3.2.2. Sebastián: la causalidad como "restricción cognitiva"..... | 79 |
| 3.2.3. Nussbaum: la causalidad como marco metafísico..... | 81 |
| 3.2.4. Steinberg, Minstrell, Hewson y Helm: causas, efectos y aprendizaje | 84 |
| 3.2.5. Comentario conjunto..... | 85 |
| 3.3. Causalidad y razonamientos naturales..... | 86 |
| 3.3.1. L. Viennot: la noción de "fuerza suministrada"..... | 86 |
| 3.3.2. E. Saltiel: la noción de "motor propio" | 89 |
| 3.3.3. S. Fauconnet: la "lectura" del problema..... | 91 |
| 3.3.4. J. L. Closset: el razonamiento secuencial..... | 94 |
| 3.3.5. L. Maurines: el razonamiento funcional..... | 96 |
| 3.3.6. S. Rozier: el razonamiento lineal causal | 100 |
| 3.3.7. Comentario conjunto..... | 103 |
| 3.4. Las "primitivas causales" del movimiento..... | 104 |
| 3.4.1. Las "primitivas" en I. A. y en la "física de sentido común" | 104 |
| 3.4.2. El trabajo de J. Ogborn, J. Bliss y D. Whitelock..... | 104 |
| 3.5. Síntesis de las investigaciones y repercusiones de las mismas..... | 106 |

| | |
|--|------------|
| PARTE II. INVESTIGACION DEL PROBLEMA..... | 109 |
| 4. ESTUDIO EXPLORATORIO..... | 111 |
| 4.1. La utilización de tebeos..... | 112 |
| 4.2. Entrevistas teachbak..... | 114 |
| 4.2.1. La Teoría Conversacional de G. Pask..... | 116 |
| 4.2.2. Adaptaciones para la elicitación del pensamiento implícito..... | 123 |
| 4.2.3. Adaptaciones para nuestro estudio exploratorio..... | 124 |
| 4.3. Aplicación a una muestra..... | 125 |
| 4.3.1. Sujetos entrevistados..... | 125 |
| 4.3.2. Esquema para la entrevista..... | 127 |
| 4.3.3. Administración..... | 128 |
| 4.4. Análisis de las entrevistas..... | 131 |
| 4.5. Resultados..... | 132 |
| 4.5.1. En relación a la utilización de tebeos..... | 132 |
| 4.5.2. En relación a la entrevista teachback..... | 132 |
| 4.5.3. En relación a la concepción causal espontánea..... | 133 |
| 4.5.4. En relación a las categorías de análisis..... | 134 |
| 4.6. Conclusiones de la exploración..... | 135 |
| 5. ESTUDIO PRINCIPAL..... | 137 |
| 5.1. Decisiones acerca del diseño..... | 137 |
| 5.1.1. Historietas utilizadas..... | 137 |
| 5.1.2. Entrevista..... | 142 |
| 5.1.3. Muestra..... | 143 |
| 5.2. Aplicación..... | 144 |
| 5.3. Análisis de los datos..... | 146 |
| 5.3.1. Categorías de análisis..... | 146 |
| 5.3.2. Signos utilizados en el análisis..... | 150 |
| 5.3.3. Ejemplo ilustrativo..... | 155 |
| 5.4. Resultados..... | 157 |
| 5.4.1. Análisis del protocolo de OSC..... | 159 |
| Comic A..... | 159 |
| Comic B..... | 168 |
| Comic C parte C..... | 173 |
| Comic C parte D..... | 181 |
| 5.4.2. Resultados del análisis de OSC..... | 185 |
| División en episodios..... | 185 |
| Utilización de los principios causales..... | 186 |
| <i>Principio de Constancia</i> | 186 |
| <i>Principio de Productividad</i> | 186 |
| <i>Principio de Condicionalidad</i> | 187 |
| <i>Principio de Univocidad</i> | 187 |
| <i>Principio de Asimetría</i> | 187 |
| Localidad..... | 188 |
| Estructura causal..... | 188 |
| <i>Estructura causal de los modelos causales iniciales</i> | 188 |
| <i>Estructura causal de los modelos construidos durante el teachback</i> | 189 |
| Utilización de convenciones..... | 191 |
| <i>Convención Amplia</i> | 191 |
| <i>Heurística Canónica</i> | 192 |
| Candidatos causales..... | 192 |
| <i>Prototipos</i> | 192 |
| <i>Candidatos causales más probables</i> | 193 |
| Otros candidatos causales..... | 201 |
| 5.4.2. Resultados del análisis de JAC..... | 203 |
| 5.4.3. Resultados del análisis de CIC..... | 227 |
| 5.4.4. Resultados del análisis de FAC..... | 249 |
| 5.4.5. Resultados del análisis de JUC..... | 273 |

| | |
|---|------------|
| 5.4.6. Resultados del análisis de JAE..... | 291 |
| 5.4.7. Resultados del análisis de SOE | 307 |
| 5.4.8. Resultados del análisis de DAE..... | 321 |
| 5.4.9. Resultados del análisis de SUE | 339 |
| 5.4.10. Resultados del análisis de CIE..... | 355 |
| PARTE III. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO. IMPLICACIONES FUTURAS..... | 377 |
| 6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS. CONCLUSIONES..... | 379 |
| 6.1. Límites del trabajo | 379 |
| 6.2. Características del pensamiento causal de los sujetos de la muestra acerca de los sistemas físicos dinámicos..... | 380 |
| 6.2.1. Caracterización de Episodios y modelos causales | 380 |
| 6.2.2. Caracterización del pensamiento causal espontáneo de los sujetos | 384 |
| 6.2.3. Causalidad-legalidad..... | 414 |
| 6.2.4. Resumen de características del pensamiento causal espontáneo de los sujetos | 415 |
| 6.3. Los métodos utilizados..... | 416 |
| 6.3.1. Los tebeos..... | 416 |
| 6.3.2. El proceso teachback..... | 417 |
| 6.3.3. El Análisis Causal | 418 |
| 6.4. Coherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos..... | 419 |
| 6.5. Los resultados y los datos de la literatura revisada..... | 420 |
| 6.5.1. Las teorías causales | 421 |
| 6.5.2. La interpretación causal de las ideas de los alumnos | 424 |
| 6.5.3. La causalidad y los razonamientos naturales..... | 424 |
| 6.5.4. Las “primitivas causales” del movimiento..... | 426 |
| 6.5.5. Comentario conjunto..... | 428 |
| 7. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES. IMPLICACIONES FUTURAS..... | 429 |
| 7.1. Resumen de las conclusiones..... | 429 |
| Coherencia del pensamiento espontáneo..... | 429 |
| Características del pensamiento causal espontáneo | 429 |
| El método utilizado | 430 |
| 7.2. Implicaciones futuras..... | 431 |
| Para la investigación..... | 431 |
| Para la enseñanza | 432 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 433 |
| APÉNDICE I..... | 461 |
| APÉNDICE II..... | 479 |
| APÉNDICE III | 757 |

PARTE I

**DATOS PARA DEFINIR EL PROBLEMA. REVISION
DE LA LITERATURA PERTINENTE**

1. EN TORNO A LA COHERENCIA-INCOHERENCIA DEL PENSAMIENTO ESPONTANEO

1.1 EL PENSAMIENTO DE LOS ALUMNOS

¿Es el pensamiento espontáneo¹ coherente o incoherente? La pregunta es sencilla. Pero la respuesta, dentro de las líneas de investigación en Didáctica de las Ciencias que hoy se conoce ampliamente con el nombre de "constructivista", no aparece fácil. Un repaso a los Cuadros 1.1 y 1.2, que no pretenden ser exhaustivos, aunque sí representativos, permite una visión rápida que lleva a la conclusión de que la cuestión no está resuelta, ni en el campo de las ideas de los alumnos en general, ni en el de la Dinámica elemental en particular.

Sin embargo, el tema es decisivo desde muchas perspectivas. Por ejemplo, desde un punto de vista práctico, como es el tema del aprendizaje: las estrategias propuestas para procurar el cambio conceptual dependen en gran manera de cómo se conciba lo que se pretende cambiar: ¿se trata de promover un cambio desde un conjunto de conocimientos fragmentados, esperando que el resultado del aprendizaje sea otro conjunto fragmentado, o, por el contrario, el cambio que se espera es el de un conjunto de conocimientos coherente y ordenado hacia otro conjunto coherente y ordenado? Pero es igualmente importante desde un punto de vista teórico: como afirma Carey (1986), después de hacer una revisión de la literatura al respecto, con el tema de la coherencia-incoherencia lo que está en juego es la existencia misma del "marco alternativo" (Finegold y Gorky 1991). Es decir, desde un punto de vista teórico, la pregunta se convierte en esta otra: ¿Existen o no existen esos "marcos", esas teorías intuitivas?

Las investigaciones realizadas para promover el llamado cambio conceptual, no se han mostrado tan eficaces como se esperaba (Smith y Lott 1983, Reif 1987, Scott 1987, Gunstone y otros 1988, White y Gunstone 1989, Hewson y Thorley 1989, Duschl y otros 1990, Duit 1990, Dreyfus y otros 1990, Duschl y Guitomer 1991, Dykstra y otros 1992, Grimellini-Tomasini y otros 1993). Esto ha hecho pensar en que algo fundamental puede estar fallando en los planteamientos mismos de la investigación.

Hay quienes apuntan a la necesidad de un *cambio de marco teórico* (Guidoni 1985, Pines y West 1986, Strike 1987, Maskill 1988, Gunstone y otros 1988, Sebastián 1989b):

¹ Con este término designamos genéricamente lo que en la literatura se cita como concepción espontánea, ideas de los alumnos, marco alternativo, preconcepciones, marco conceptual, miniteorías, etc. Aunque en algunas ocasiones los autores quieren denotar diferentes matices al utilizar uno u otro término (Abimbola 1988, Gunstone 1989), cuando nos refiramos a ellos lo haremos notar.

| AUTOR Y FECHA | TEMA | METODO | RESULTADOS |
|---------------------------|--|--|--|
| Roth y Roychouldhury 1994 | Compromisos epistemológicos | Triangulación de datos | Incoherencia (dependencia del contexto) |
| Gómez-Crespo y otros 1993 | Conceptos de energía y su conservación | Cuestionario escrito | Incoherencia (dependencia del contexto) |
| Caballero y Giménez 1993 | Concepto de célula | Cuestionario escrito | Incoherencia en el dominio |
| Membiola y otros 1993 | Conceptos ambientales | Cuestionario escrito | Incoherencia en el dominio |
| Sebastiá 1993 | Electricidad básica | Cuestionario escrito | Incoherencia en el dominio (conocimiento fragmentado) |
| Serrano 1992 | Desarrollo conceptual del Sistema Nervioso. Modelos mentales | Entrevistas sobre ejemplos y sobre situaciones | Coherencia del pensamiento consigo mismo. (modelos mentales) |
| Sanmartí 1989 | Conceptos de mezcla y compuesto | Cuestionario escrito | Coherencia en el dominio (mediadores) |
| Pintó 1991 | 1º y 2º Ley de Termodinámica. | Cuestionario escrito | Incoherencia en el dominio |
| Song y Black 1991 | Evaluación habilidades cognitivas | Cuestionario escrito | Incoherencia (dependencia del contexto) |
| Mohapatra 1990 | Conceptualización episódica | cuestionario escrito | Incoherencia (memoria episódica encapsulada) |
| Vosniadou y Brewer 1989 | Modelos mentales sobre la Tierra | Entrevista semiestructurada | Coherencia del pensamiento consigo mismo. (Modelos mentales) |
| Jiménez Aleixandre 1989 | Selección natural | Cuestionario escrito | Coherencia en el dominio (frameworks) |
| Shipstone y otros 1988 | Electricidad básica (cinco países) | Cuestionario escrito | Coherencia en el dominio (frameworks+ raz. local) |

CUADRO 1.1. Estudios recientes que se pronuncian acerca de la incoherencia-incoherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos en temas particulares.

- "Si no son recibidos nuevos aportes teóricos, las investigaciones que adoptaran como base el constructivismo podrían constituir una labor estéril, abocada al fracaso" (Sebastiá 1989b, p 160).

Otros apuntan a la necesidad de *un cambio de objeto* en la investigación, que debería pasar de la descripción de "marcos alternativos" a *intentar descubrir estrategias naturales* del pensamiento (Hills 1983, Viennot 1985, Maskill 1988, Sanmartí 1989); o los *mecanismos del cambio conceptual* (Vosniadou y Brewer 1987, Kuhn 1989, Chi y Bassok 1989, Cañal 1991); o *el origen* de las ideas espontáneas de los sujetos (Clement 1983b, Perales y Nieva 1991):

- "Los investigadores sobre el cambio conceptual tienen poco que decir acerca de cómo los sucesivos modos de entender se transforman de uno en otro (o cómo se construyeron originalmente), esto es, acerca del proceso mediante el cual las teorías se construyen y revisan como un modo de aprender sobre el mundo" (Kuhn 1989 p.675).

| AUTOR Y FECHA | TEMA | METODO RECOGIDA DE DATOS | RESULTADOS |
|---|--|---|---|
| García y Barrios 1993 | Mecánica elemental | Cuestionario escrito | Incoherencia Falta de conexiones básicas integradoras |
| Sastre 1993 | Conceptos de masa, peso, gravedad y movimiento | Cuestionario escrito | Incoherencia Contenidos científicos no significativos |
| Maurines 1992b | Propagación de señales mecánicas | Cuestionario escrito | Coherencia Pensamiento macánico y reduccióm funcional |
| Carrascosa y Gil 1992 | | Revisión Bibliográfica | Coherencia En torno a "la fuerza como causa del movimiento" |
| Finegold y Gorsky 1991 | Concepto de fuerza y sus aplicaciones | Cuestionario escrito | Incoherencia Conocimiento fraagmen-tado |
| Hewson 1985, 1990 | | Revisión Bibliográfica y toma de postura | Incoherencia Ausencia de compromiso epistemológico Al menos dos tipos de fuerzas: $f=\Delta v$; $f=ma$ |
| Law 1990 | Razonamiento de sentido común sobre el movi-miento | Tareas de clasificación (entrevistas) Sistema Experto | Coherencia A modo de guión (Schank) o marco (Minsky) |
| Viennot 1989b | | Discusión datos empíricos y toma de postura | Incoherencia Al menos dos conceptos de fuerza: $f=\Delta v$; $f=ma$ |
| Bliss,Ogborn, Whitelock 1989 | Modelización de dinámica del sentido común | Tareas de clasificación (escritas) | Coherencia |
| Hierrezuelo y Moreno 1988 | | Revisión Bibliográfica | Incoherencia Al menos dos conceptos de fuerza: $f=\Delta v$; $f=ma$ |
| DiSessa 1988, 1993 | Primitivas fenomenológicas relativas al movi-miento | Entrevistas y análisis de protocolos | Incoherencia Conocimiento fragmen-tado |
| Reif 1987 | Concepto de aceleración | Resolución de problemas en voz alta | Incoherencia Conocimiento fragmen-tado |
| Gunstone y Watts 1985 | Fuerza y movimiento | Revisión bibliográfica y toma de postura | Incoherencia No sienten la necesidad |
| Vasgoncelos 1987 | Noción de fuerza | Cuestionario escrito | Coherencia En torno a "una fuerza en el sentido del movi-miento" |
| McDermott 1983 | | Discusión datos empíricos y toma de postura | Incoherencia Al menos dos conceptos de fuerza: $f=\Delta v$; $f=ma$ |
| Clement 1982, 1983a, 1983b | Primitivas conceptuales del movimiento (modelos de orden cero) | Cuestionario escrito Entrevistas | Coherencia En torno a "el movimiento implica una fuerza" |
| McCloskey 1983a, 1983b McCloskey y otros 1980, McCloskey Kohl, 1983 | Teoría ingénua del movimiento (impetus) | Cuestionario escrito Entrevistas Revisión bibliográfica | Coherencia En torno a "los cuerpos se mueven porque tienen una fuerza interna" |

CUADRO 1.2. Estudios que se pronuncian acerca de la coherencia-incoherencia del pensamiento espontáneo en temas de dinámica elemental.

Otros subrayan la necesidad de un cambio de métodos de investigación, de manera que permitan poner de manifiesto datos empíricos de los que ahora carecemos (Hashweh 1988, Law 1990, Viennot 1988a, Vosniadou y Brewer 1989, Pozo 1993):

- "Al carácter parcializado del saber común [que aparece en las investigaciones] responde el carácter parcializado de la mayor parte de los estudios realizados, cuyos contornos se identifican con los de tal o cual concepto, o par de conceptos, del dominio estudiado. ¿Esta focalización responde, quizás, a la verdadera estructura del saber común?" (Viennot 1988a, p.1).

Lo cierto es que las investigaciones diseñadas para investigar expresamente la coherencia-incoherencia del pensamiento de los sujetos, tal como aparece en los datos empíricos, se inclinan abrumadoramente por la incoherencia: de los estudios que hemos tenido oportunidad de revisar (Sebastiá 1993, Finegold y Gorky 1991, Licht y Thijs 1990, Engel-Clough y Driver 1986, Whitaker 1983, Clement 1983b, Solomon 1983a, 1983b) sólo uno encuentra coherencia en el pensamiento de los alumnos (Clement 1983b).

1.2.LAS CREENCIAS DE LOS INVESTIGADORES

Los investigadores, como toda la gente en general, poseen creencias sobre el mundo (Abelson 1979, Chant y Flauvel 1980). Estas creencias son sus supuestos metafísicos y epistemológicos, a partir de los cuales plantean sus investigaciones. De manera que éstas determinan de alguna manera sus programas de investigación (Lakatos 1978). Esto podría explicar la gran dispersión existente en los modos de abordar las investigaciones, en los modos de dar cuenta de los datos y en los modos de interpretarlos, denunciado ya desde muy pronto como voz de alarma por los investigadores (por ejemplo, Driver y Erickson 1983) hasta llegar a calificarse últimamente como "triste situación" (Duit 1990). Y esto también explicaría, por ejemplo, que ante los mismos datos empíricos unos investigadores puedan quedar satisfechos y den por terminada su investigación, mientras que otros puedan pensar que están a medio camino y que aún les queda más por hacer.

En relación al tema coherencia-incoherencia del pensamiento de los sujetos en general y de los alumnos en particular, las creencias de los investigadores también han jugado un papel determinante. Cifrándonos a la investigación sobre las ideas de los alumnos, las concepciones dominantes actuales acerca del origen y de la organización de los contenidos mentales de los sujetos aparecen sucintamente reflejadas en el Cuadro 1.3. El que un investigador sitúe sus creencias más cercanamente a uno u otro de sus extremos, determina de algún modo los límites de su investigación.

| CONCEPCIONES SOBRE LA MENTE | ALGUNAS CARACTERISTICAS |
|--|---|
| <p>(Hume) CONCEPCION ECOLOGICA (EMPIRISMO) <i>El mundo impone su orden sobre la mente</i></p> <p>Rosch y otros 1976 Rosch 1977 Nisbett y Ross 1980 Kahneman, Slovic y Tversky 1982 Hilton 1988b</p> <p>Marton 1981, 1984, 1986, 1993 Johansson y otros 1985 Renström 1987 Linder 1993</p> <p>Carey 1985b, 1986, 1987 Preece 1984</p> <p>Quine 1969, 1977</p> <p>Keil 1981, 1986</p> <p>Fodor 1972, 1975, 1983</p> <p>Chomsky 1965, 1968</p> <p><i>La mente impone su orden sobre el mundo</i> (INNATISMO) CONCEPCION INTELECTUAL (Kant)</p> | <p>(<i>transparencia perceptual</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Categorías mentales producto de la percepción directa o indirecta. Fuerte énfasis en relaciones temporales y espaciales entre los conceptos en general y de proximidad temporal o espacial entre sus características en particular - Formación de conceptos y reglas derivables de observación de regularidades, grados de similitud, simples distribuciones o cualquier otra medida probabilística. - Reglas heurísticas de carácter local. - Las concepciones son categorías de descripciones que reflejan las relaciones entre el individuo y su entorno. Desconocimiento exacto (incluso de la existencia) de las representaciones internas. - Teorías primitivas innatas relativas a dominios específicos. El desarrollo conceptual consiste en la diferenciación de un nuevo dominio proveniente del anterior, caracterizado por el encuentro de un nuevo dominio de fenómenos, nuevos mecanismos explicativos y la aparición de nuevos conceptos. - Las construcciones mentales progresan desde elementos innatos y a través de primeros mecanismos basados en similitudes, hasta llegar a estar orientadas por teorías con bases más objetivas - El desarrollo del conocimiento consiste en un acceso creciente de las mismas estructuras innatas a una variedad más amplia de tareas. - Sistemas cognitivos modulares informativamente encapsulados, con operatividad local, y sistemas cognitivos centrales, no específicos de un dominio dado. - Restricciones formales innatas que limitan la clase de estructuras del conocimiento lógicamente posibles que pueden ser utilizadas en un dominio dado <p>(<i>impenetrabilidad</i>)</p> |

CUADRO 1.3. Concepciones INTELECTUAL y ECOLÓGICA sobre la mente. La flecha indicada en el extremo INTELECTUAL muestra el sentido en que los autores se alejan del extremo "duro" de la concepción. En paralelo con los autores, sus afirmaciones más características. En una zona intermedia entre los extremos ecológico e intelectual podría situarse la concepción piagetina, que podríamos llamar Epistemo-genética (Plunkett y Sinha 1992). En ella el orden mental vendría dado por estructuras no ligadas a contenidos específicos, construidas por los sujetos en su interacción con el ambiente en diversas etapas a lo largo de su vida.

Por ejemplo, si un fenómeno psicológico se considera *impenetrable* (Pylyshyn 1984), no podrá ser influenciado de manera relevante mediante acciones racionales del sujeto o sobre el sujeto (Boden 1988); constituirá un a-priori que impondrá restricciones a la información que el sujeto posea o adquiera sobre el mundo. No se podrá hablar de coherencia-incoherencia del pensamiento, ni de aprendizaje, sin tener en cuenta estos a-priori. Si, por el contrario, se considera que todos los fenómenos psicológicos son *penetrables*, pueden ser influenciados por las acciones racionales del sujeto o realizadas sobre el sujeto, el tema de la coherencia-incoherencia del pensamiento, o del cambio conceptual, habrá que abordarlo de modo distinto.

De hecho, aunque muy pocas veces los investigadores explicitan sus creencias, los datos revelan que la mayor parte de los trabajos realizados en Didáctica de las Ciencias en los últimos años se han hecho situándose decididamente en la línea que indica el extremo ECOLOGICO² (Butterworth 1992, Light y Butterworth 1992, Neisser 1987a, 1987c) del Cuadro 1.3. De ahí que el *orden* que se ha buscado en las concepciones de los sujetos sea un orden impuesto por el mundo exterior. Pero este mundo exterior ha sido a su vez *ordenado* por las ciencias. De manera que es fácil que la investigación situada en esta línea busque en la mente de los sujetos un orden, una *coherencia*, del tipo de la que informa a los saberes públicos (Polanyi 1958, Ziman 1968, 1978, Harré 1982). Y esto a pesar de que parece bastante claro en la literatura psicológica que el tipo de "racionalidad" que exhiben los sujetos cuando realizan tareas ordinarias no coincide con los presupuestos de la "racionalidad" científica (Cfr. por ejemplo los estudios de Evans 1972, 1978, 1984, Wason y Johnson-Laird 1972, Wason 1983, Vazquez 1985, Boden 1988, Hundert 1990).

Las investigaciones situadas en una óptica más INTELECTUAL, en lo que se refiere a la Didáctica de las Ciencias, son escasas en número, aunque no por ello menos influyentes (por ejemplo, los trabajos de Carey son universalmente citados). En realidad, por debajo de la línea que marcan las posturas de Carey y Preece no conocemos investigaciones específicamente realizadas desde esta perspectiva en Didáctica de las Ciencias. Advuértase, no obstante, lo alejados que están estos autores de la versión *intelectual fuerte* que representan Chomsky y Fodor, según se sitúan en el Cuadro 1.3. Así, en la concepción de Carey, aunque las teorías innatas serían impenetrables por naturaleza, estas darían paso a otras teorías adquiridas, cuyas estructuras no estarían restringidas por las primitivas anteriores, sino que vendrían impuestas por la naturaleza del contenido específico a que hiciera relación la nueva teoría sustitutoria. Esta última sería completamente penetrable, es decir, susceptible de ser reemplazada a su vez por otra teoría.

² En el sentido gibsoniano del término. Cfr. Gibson 1979.

1.3. EL ESTATUS DE LAS IDEAS ESPONTANEAS

Una consecuencia de lo que acabamos de decir se refleja en el Cuadro 1.4. Es claro que analizando en las columnas el ESTATUS que le asignan los investigadores a las ideas de los alumnos y el ORIGEN que les atribuyen, podrían hacerse dos grupos en los que aparecieran unidos los términos incoherencia(I)-origen sensorial(S) y coherencia(C)-origen innato(I), con la sola excepción de Serrano (1988) y Reif y Larkin (1991), que son los únicos que admitiendo un origen sensorial afirman la coherencia *local* de las concepciones de los alumnos. Ogborn (1991b) y Clement (1983a y 1983b) también afirman la coherencia, pero basados en criterios senso-motores (SM), entendidos éstos al modo piagetiano, por lo tanto, con criterios no comparables a los anteriores. De manera que se podría decir que los que piensan en el origen sensorial de las ideas de los alumnos tienen muchas posibilidades de aceptar como ciertos los datos que señalan las incoherencias de las mismas. Y los que piensan que de alguna manera su origen es innato tienden a esperar que los datos los lleven a unas ideas de los alumnos que se muestren coherentes.

La carga de creencias con que los mismos investigadores se expresan es indudable en algunos casos. Unos aluden a convencimientos propios; otros a razones metodológicas; otros a razones psicológicas:

- *"Mi propio punto de vista es que presentar así [coherencia del pensamiento] el estado de la cuestión es una gran equivocación (...). La física intuitiva es una colección fragmentada de ideas, con débiles soportes físicos y flojamente conectadas, que no tienen más compromiso y sistematicidad que los que tienen los atributos en las teorías" (diSessa 1988 p 50).*

- *"Algunos autores sostienen que la estructura cognitiva está constituida por un número de unidades aisladas, con conexiones muy débiles entre ellas. diSessa (1983) por ejemplo, se refiere a los P-prims, que son "estructuras de conocimiento monolíticas... cuyos significados... son relativamente independientes del contexto". Pero esto es una asunción muy optimista [desde el punto de vista de la modelización] y muy peligrosa. Si la estructura cognitiva está realmente fragmentada y nosotros no lo asumimos así, llegaremos a descubrir que realmente está fragmentada. Pero si está totalmente conectada entre sí y nosotros asumimos que está fragmentada, probablemente seremos incapaces de ver (o expresar con un formalismo), importantes aspectos de su estructura" (Hayes 1985a p 16).*

- *"En tanto se mantienen, las teorías explícitas suelen generar predicciones con bastante éxito en la vida cotidiana (...). Como señala Claxton (1984), las teorías personales deben ser útiles; las teorías científicas deben ser ciertas. Esta diferencia de criterios (utilidad versus verdad) está una vez más conectada con el carácter implícito o explícito de las representaciones componentes" (Poza, Pérez y otros 1992 p 11).*

| AUTORES Y FECHA | TIPO DE INVESTIGACION | ESTATUS | ORIGEN | |
|---------------------------------|--|---|--|------|
| Linder 1993 | Análisis teórico y toma de postura | Incoherencia (variabilidad conceptual por naturaleza) | Relación con el ambiente | I-S |
| Pozo y otros 1991 Pozo 1988a | Revisión Bibliográfica y toma de postura | Teorías locales incoherentes (búsqueda de éxito, no de coherencia lógica. Conocimiento privado) | Sensorial, social, analógico | I-S |
| Ogborn 1991b | Revisión datos empíricos y toma de postura | Coherencia interdominios (del pensamiento consigo mismo) | Acciones internalizadas (tipo piagetiano) Lenguaje | C-SM |
| Reif y Larkin 1991 | Revisión Bibliográfica y toma de postura | Coherencia local (observaciones anteriores, tradición) | Sensorial, social, analógico | C-S |
| Duit 1990 | Revisión Bibliográfica y toma de postura | Coherencia interdominios (las ideas guían la acción) | Innato, sensorial, lenguaje e interacción social. | C-I |
| DiSessa 1983, 1988, 1993 | Fenomenológicas primitivas y toma de postura | Incoherencia. (conocimiento fragmentado. Aprenden mejor) | Sensorial | I-S |
| Serrano 1988 | Revisión bibliográfica | Coherencia local (no buscan teorías generales) | Propia experiencia lenguaje cultura | C-S |
| Hierrezuelo y Moreno 1988 | Revisión Bibliográfica | Incoherencia (no sienten la necesidad) | Sensorial | I-S |
| Lockhead 1988 | Análisis teórico y toma de postura | Incoherencia. (conocimiento fragmentado. Aprenden mejor) | Sensorial | I-S |
| Engel-Clough y Driver 1986 | Análisis datos empíricos y toma de postura | Incoherencia (diferencias en origen) | Sensorial Propia experiencia enseñanza | I-S |
| Hayes 1979, 1985a | Análisis teórico y toma de postura | Coherencia interdominios (razones metodológicas) | Innato Sensomotor | C-SM |
| Driver y otros 1985 | Revisión Bibliográfica y toma de postura | Incoherencia (no sienten la necesidad) | Sensorial | I-S |
| McClelland 1984, 1985 | Análisis teórico y toma de postura | Incoherencia (Conocimiento privado. Búsqueda de éxito, no de contradicción) | Experiencias emociones presión social | I-S |
| Carey 1985a, b, c | Revisión Bibliográfica y toma de postura | Teorías locales coherentes | Innato | C-I |
| Clement 1983a, 1983b | Conceptuales primitivas y toma de postura | Coherencia local (teorías locales coherentes) | Sensomotor | C-SM |

CUADRO 1.4. Estudios que se pronuncian acerca de la coherencia-incoherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos en general, asignándole un estatus determinado.

Lo que de esta breve revisión del estado de la cuestión se deduce, es que el tema de la coherencia-incoherencia de las ideas de los alumnos está lejos de ser resuelto. Y de este problema es del que este trabajo se quiere ocupar en los términos que expondremos a continuación.

1.4. PRIMERA DELIMITACION DEL PROBLEMA A ESTUDIAR

Al abordar el tema que va a constituir nuestra investigación, queremos situarlo en el contexto que acabamos de describir. En relación a la pregunta sobre la coherencia-incoherencia del pensamiento espontáneo, la respuesta que guía como hipótesis nuestro trabajo es que *el pensamiento espontáneo de los sujetos es coherente*.

El tipo de coherencia al que nos referimos no se restringe a un dominio de conocimiento³ determinado. Cuando expresamos que el pensamiento espontáneo de un sujeto es coherente nos referimos a una cualidad de su pensamiento que le hace mostrarse fiel a sí mismo y libre de contradicciones, a través de los diversos dominios que constituyen toda la "base de conocimientos" adquirida sin haber sido explícitamente objeto de enseñanza particular⁴. Precisamente esta coherencia de fondo del comportamiento intelectual de los sujetos es lo que hipotéticamente interferirá en los diversos dominios de conocimientos que se le presentan desde el ámbito escolar, de modo necesariamente fragmentado, y con unos marcos de racionalidad o coherencia que no tienen por qué necesariamente coincidir con los que el sujeto posee (Cohen 1981, McCubbin y otros 1984, Gardner 1985, Gil 1988, Sloman 1990).

A diferencia de los saberes públicos o intencionalmente aprendidos, fácilmente accesibles para el sujeto, los criterios mediante los cuales su pensamiento permanece fiel a sí mismo a través de los distintos contextos y dominios de conocimientos, permanecen implícitos para él mismo.

Esta característica que se asigna al pensamiento común hará que *el planteamiento metodológico de nuestro trabajo deba ser tal que facilite el acceso al pensamiento implícito de los sujetos*.

Enunciada así nuestra hipótesis sería completamente inabarcable en los márgenes de una investigación como la presente. Necesariamente hay que delimitar más el problema si queremos abarcarlo.

³ *Dominio de conocimiento* : Siempre que nos refiramos a ello, a partir de este momento, estaremos utilizando la definición de Reif y Larkin (1991), según la cual "un dominio de conocimiento es el conjunto de conocimientos declarativos y procedimentales útiles para conseguir un fin particular. Por ejemplo, el dominio de conocimientos de la física. El conocimiento específico del dominio lo constituyen los conceptos utilizados en ese dominio, las relaciones entre ellos y los métodos para manejarlos (Reif y Larkin 1991, p.735).

⁴ A veces los autores distinguen entre *coherencia local* (intradominio) y *consistencia* (coherencia interdominios). Cfr. Cuadro 1.1. Nuestra definición exige ámbos aspectos: diremos simplemente que el pensamiento de un sujeto es coherente cuando se cumplen ambos requisitos; y que es incoherente cuando falla alguno de ellos.

Por lo tanto, *limitaremos nuestro estudio a la búsqueda de una hipotética concepción causal espontánea, a través de la cual el sujeto buscaría una explicación coherente a los fenómenos que observa a su alrededor.*

Desde el punto de vista psicológico, hay *indicios* para pensar que este modo de mirar la realidad tiene muchas posibilidades de ser un candidato capaz de "ligar" (Mackie 1975, 1974) coherentemente los contenidos mentales entre sí, tanto intradominios (Driver y otros 1985, Carey 1985a, 1985b, 1986, 1987, Chi y Bassok 1989, Driver 1989, Law 1990, Pozo y otros 1992, Pozo y Carretero 1992) como interdominios (Murphy y Medin 1985, McCauley 1987, Medin y Wattenmaker 1987, Wattenmaker, Nakamura y Medin 1988, Keil 1989, Medin y Ortony 1989, Mariani y Ogborn 1991, Ogborn 1993).

De manera que las preguntas a las que querríamos contestar en nuestro trabajo podrían enunciarse en primera aproximación del siguiente modo:

1. *¿Es el pensamiento espontáneo de los sujetos incoherente, o se podría encontrar algún modo de coherencia en los datos empíricos aportados por la investigación?*
2. *¿Podría una lectura de los datos realizada desde el pensamiento causal espontáneo de los sujetos, aportar un marco de referencia para mostrar la coherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos?*

La contestación afirmativa a la primera pregunta no presupone una contestación afirmativa a la segunda. Pero contestar afirmativamente a esta última sí que supondría una contestación afirmativa a la primera: aunque no agota las posibilidades de coherencia que puede tener el pensamiento espontáneo de los sujetos, delimita un campo más acotado para su estudio.

Aun limitando nuestra búsqueda de coherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos al ámbito del pensamiento causal, el tema sigue siendo demasiado amplio. La causalidad ha sido un clásico tema de estudio en Filosofía y Epistemología, desde Aristóteles hasta nuestros días. En Psicología lo ha sido menos, pero en nuestro siglo la producción también ha sido abundante. Conviene que antes de tomar decisiones sobre cómo delimitar más nuestro problema hagamos un repaso breve de este tipo de literatura.

1.4.1. EL TEMA CAUSAL EN FILOSOFÍA Y PSICOLOGÍA

El tema casual en Filosofía

Son numerosas las revisiones realizadas en torno a la causalidad. Desde la obra capital de Bunge (1959) hasta nuestros días, el tema causal sigue discutiéndose y actualizándose en numerosas publicaciones referidas a la Filosofía y Epistemología (Wartofsky 1968, Hanson 1971, Gilson 1971, Bunge y otros 1971, Sosa 1975, Harré y Madden 1975, Kuhn 1977, Bhaskar 1978, 1986, Richards 1983, Hacking 1983, Salmon 1984, Bunge 1985, Oldroyd 1986, Wagensberg 1986, Harré 1986, O'Hear 1989, Coveney y Highfield 1990, Ginet 1990, Fetzer 1993, Musgrave 1993) o al tema de la Explicación, tanto en Ciencias como en Sociología (von Wright 1971, Cartwright 1983, Achinstein 1983, Schank 1986, Hoaglund 1986, Hilton 1988a, Hage y Meeker 1988, Giere 1988, Antaky 1988, Ruben 1990, 1993 Metz 1991, Ogborn 1991a, 1991c, Thagard 1992, Brosnan 1992, Fetzer 1993, Slife 1993). Aunque con matices propios, los autores siguen distinguiendo y alineándose en torno a las tres grandes concepciones clásicas que se han desarrollado en la historia de la Filosofía respecto a la causalidad. En cada una de ellas la relación entre la causa y el efecto se concibe de manera distinta, como veremos a continuación.

La concepción Aristotélica

Para Aristóteles (*Metafísica*), la causa tiene potencialidad para generar el efecto y existe una conexión interna entre ambos, de manera que causa y efecto no son independientes entre sí: el efecto no podría existir sin la existencia anterior de la causa, y parte de lo que caracteriza la naturaleza de la causa es precisamente su potencialidad para producir ese efecto.

Dentro de esta tradición se sostiene que hay una conexión real entre causa y efecto de manera que en muchos casos puede identificarse el mecanismo productivo que liga la causa al efecto.

En el sistema Aristotélico tienen que concurrir cuatro tipos de causas para que se dé un efecto: la causa material (la cosa afectada); la causa final (el fin que se busca o al que tiende esa cosa); la causa formal (la esencia o cualidad de la cosa); y la causa eficiente (agente externo responsable de la alteración que sufre la cosa).

En la concepción Aristotélica, dada una determinada causa sobrevendrá necesariamente un determinado efecto y siempre el mismo.

| | CONCEPCION ARISTOTELICA | CONCEPCION HUMEANA | CONCEPCION KANTIANA |
|--------------------------|---|---|--|
| Tipos de causas | - eficiente - final - formal - material | - eficiente | - eficiente |
| Relación causa-efecto | <u>Producción:</u> La causa produce el efecto de acuerdo con su naturaleza Existe un mecanismo productivo que da lugar al efecto | <u>Asociación causa-efecto:</u> - secuencias invariantes, - coincidencias invariantes - dependencia funcional No existe mecanismo productivo que dé lugar al efecto | <u>A-priori:</u> La causalidad expresa una condición para comprender el mundo El mecanismo productivo no pertenece a las cosas en sí mismas, sino en cuanto éstas son objetos de conocimiento |
| | <u>REALISMO CAUSAL</u> La causalidad expresa el modo de ser de las cosas | <u>ACAUSALISMO</u> La causalidad expresa un hábito mental de ver las cosas | <u>TRASCENDENTALISMO CAUSAL</u> La causalidad expresa un a-priori del pensamiento para comprender el ser de las cosas |

CUADRO 1.5.

Concepción Humeana

Con el nacimiento de la ciencia moderna decae la Doctrina de las Cuatro Causas (Harré 1972) y adquiere relevancia únicamente la causa eficiente, alrededor de la cual se elabora la explicación científica y se interpretan los datos experimentales.

Hume recoge esta nueva tendencia al elaborar su *Tratado de la Naturaleza Humana* (1739/1740), por lo tanto al tratar de la causalidad se refiere a la causa eficiente aristotélica, aunque conceptualizada de manera radicalmente distinta. Para Hume el vínculo causa-efecto no responde a la naturaleza o poder interno de las cosas (mecanismo productivo), sino que se determina por relaciones de contigüidad espacial y temporal: lo único que se puede afirmar de la relación causa-efecto es que son dos sucesos que se dan conectados en el tiempo y en el espacio. Cuando observamos esta conexión de modo regular, esto crea en nosotros un hábito mental que consiste en esperar que la próxima vez que observemos el fenómeno que llamamos *causa*, a continuación sobrevendrá el que llamamos *efecto*, y viceversa. Pero no hay ningún dato empírico que muestre una conexión interna o mecanismo que ligue la causa con el efecto.

En la concepción humeana, el efecto no viene determinado por la naturaleza de la causa, de manera que cualquier causa puede producir cualquier efecto.

Concepción Kantiana

Contrariamente a lo que sostiene Hume, Kant (1781) mantiene que la causalidad no procede de nuestra experiencia con el mundo, sino que es un presupuesto de nuestra relación con él: existe un vínculo causal sintético, es decir verificable en la experiencia, pero no procedente de ella, sino que se impone a la misma de forma *a-priori*, constituyendo nuestro único modo de entender la relación entre los sucesos que acontecen a nuestro alrededor. En este sentido, como en la postura defendida por Aristóteles, el vínculo causal es necesario, pero no pertenece a las cosas en sí mismas, sino en cuanto son nuestros objetos de conocimiento.

Por sus afirmaciones acerca de la necesidad de vínculo causal, las posturas de Aristóteles y Kant se llaman *causalistas*, mientras que la postura de Hume se llama *acausal*. En el Cuadro 1.5 se ofrece un resumen esquemático de estas posturas.

El tema causal en Psicología

Las publicaciones relativas al tema causal en Psicología giran en torno a dos teorías: la elaborada por H.H. Kelley, conocida por Teoría de la Atribución Causal, y la elaborada por J. Piaget, formando parte de su Epistemología Genética. De la teoría de Kelley contamos con un sumario realizado por él mismo (Kelley 1973) y con las excelentes revisiones de E. Thomas (1981) y J. I. Pozo (1985 y 1987a); en cuanto a la teoría causal piagetiana también contamos con la síntesis realizada por el propio autor (Piaget y García 1971) y numerosas revisiones, entre las que destacaríamos, además de las de Thomas y Pozo en los mismos trabajos antes señalados, las de Lafuente (1977) y Vuyk (1981).

La teoría de H.H. Kelley

La Teoría de la Atribución Causal, según el propio Kelley, se ha desarrollado en el ámbito de la **psicología social**, y quiere responder a preguntas sobre *percepciones sociales* (si una persona falla un examen, ¿es porque es torpe, o porque el examen era muy difícil?); *autopercepción* (¿cómo juzga una persona su propia habilidad para pasar un examen? ¿cómo juzga sus sentimientos?); y, por último, acerca de la *conciencia* que tiene un sujeto *de cómo conoce el mundo* (¿cómo sabe que sus creencias y sus juicios son verdaderos?). Las contestaciones a este tipo de preguntas, en la forma de juicios del tipo "La Propiedad X caracteriza la Entidad Y" las llamas Kelley *atribuciones causales* (Cfr. Kelley 1973, p. 167).

Un observador puede hacer juicios contando con dos tipos diferentes de datos:

1. Tiene información a partir de múltiples observaciones
2. Tiene información a partir de una sola observación

En el primer caso ilustrará el *Principio de Covariación* al emitir su juicio: *un efecto se atribuye a aquellas de sus posibles causas con la cual covaría en el tiempo*. En el segundo caso, es raro que el sujeto actúe con una ignorancia completa, y su información probablemente apuntará a la presencia de ciertas posibles causas. En este caso, el sujeto emitirá su juicio causal atributivo poniendo en práctica el *Principio de Descuento*: *El papel de una causa dada en la producción de un efecto dado se descuenta si otras causas probables están también presentes*.

Pensamos, como apuntan Pozo y Thomas en sus revisiones, que ésta Teoría se encuadra en la más pura tradición humeana en su concepción causal: no existe un mecanismo causal que ponga en relación la causa con el efecto, sino que causa y efecto se relacionan por *covariación y contigüedad* en el espacio y en el tiempo.

Las **investigaciones** realizadas dentro de la tradición kelleyana han sido numerosas (por ejemplo, Whiteman 1967, 1970, 1976, Jones 1976, Nisbett y Ross 1980, Schultz y Mendelson 1975, Blank 1984, Dalenberg y otros 1984, Boreham 1987, Turnbull y Slugosky 1988, Bornas 1988, etc.). Y su influencia, directa o indirecta ha sido fuerte en la Psicología actual (Cfr. por ejemplo, lo comentado acerca del extremo ECOLOGICO del Cuadro 1.3, que es donde se situaría este tipo de investigación).

La teoría de J. Piaget

La causalidad a la que hace relación la teoría elaborada por Piaget es explícitamente la **causalidad física** (Piaget 1927, 1971, 1973). Pieza fundamental en su Epistemología Genética, la causalidad juega un papel primordial en la *equilibración* de las estructuras cognitivas, proceso clave en todo el sistema piagetiano (Piaget 1975).

Naturaleza de la causalidad piagetiana

Para Piaget la noción causal está íntimamente ligada a la de *estructura* y a la de *explicación física*, y el problema central que se plantea es el de cómo se relacionan las estructuras lógico-matemáticas utilizadas por el sujeto en las explicaciones causales y las estructuras supuestas de lo real (Piaget 1974): ¿son las transformaciones formales de las estructuras las únicas que dan cuenta de las modificaciones y conservaciones reales observadas en los hechos; o, por el contrario, las primeras sólo constituyen su reflejo

interiorizado en nuestra mente de los mecanismos inherentes a la causalidad física objetiva e independiente de nosotros? En el primer caso, sólo se explicarían las *conservaciones*, y quedarían sin explicación las *transformaciones*; y en el segundo caso se identificaría la estructura operatoria con la causalidad.

Según Piaget ambas soluciones son incorrectas: existe una correspondencia entre las operaciones del sujeto y las acciones efectivas de unos objetos sobre otros, y esta correspondencia es la que nos produce la sensación de comprender (Piaget 1974 p. 48). Él mismo lo explica de la manera siguiente:

"En todos los niveles del desarrollo reencontramos una correspondencia entre las etapas de la causalidad y la formación de operaciones lógico-matemáticas. (...) Pero nosotros no empezamos pidiendo al niño sus ideas acerca del terreno lógico-matemático para pasar seguidamente a poner la cuestión física: la cuestión física se pone de entrada, y el niño no piensa con diversas analogías que pueda conocer de las estructuras lógico-matemáticas. Indudablemente, es de manera completamente inconsciente como las estructuras que construye en este terreno [lógico-matemático] son atribuidas a los objetos en el otro campo [el físico]. Estas atribuciones de operaciones significan que los objetos mismos se convierten, para el sujeto, en una especie de operadores, en origen de transitividad, de reversibilidad, de reciprocidad, de distributividad, etc. Estos hechos muestran, así pues, una correspondencia estrecha entre las estructuras operatorias y las estructuras causales". (Piaget 1973, p. 20).

Origen de la concepción causal en el niño

La estructura causal del sujeto, como cabría esperar en el sistema piagetiano, es producto de una *construcción*. El texto arriba citado continúa con la siguiente explicación:

"Pero, ¿cuál es el camino? ¿Las estructuras operatorias se desarrollan en completa autonomía para ser a continuación, y a medida que se van descubriendo, atribuidas a los objetos, y proyectadas a lo real, según un desarrollo en sentido único? O más bien sucede lo contrario, ¿es la causalidad la que plantea problemas obligando al sujeto a construir instrumentos lógico-matemáticos? Nosotros nos orientamos hacia esta segunda idea. O mejor dicho, hacia la idea de una acción recíproca" (1973, p. 20-21).

Según acabamos de ver, en la idea de Piaget hay una "concordancia permanente" entre las realidades físicas (los objetos) y los instrumentos lógico-matemáticos [operaciones] que el sujeto utiliza para describirlas. Ahora bien, como el mismo Piaget señala (1974 p. 49):

"Esta concordancia no es simplemente, como cree el positivismo, la de un lenguaje con los objetos designados (...), sino la de las operaciones humanas con las de los objetos operadores, es decir, una armonía entre este operador particular (...) que es el hombre en su cuerpo y en su espíritu, y estos innumerables operadores que son los objetos físicos en todos los niveles".

En este sentido, la concepción Epistemológica de Piaget se sitúa en un lugar intermedio entre las posturas de Aristóteles (la causalidad reside en las cosas en sí mismas) y de Kant (el sujeto estructura causalmente la realidad); adopta un punto de vista *racionalista*, que, negando una causalidad a priori, se acerca a la perspectiva de Leibniz, explícitamente a lo que Leibniz denomina "armonía preestablecida" (Piaget 1965, 1974). De manera, afirma Vuyk (1981, p. 76 de la trad. cast.), que Piaget es *causalista* y *realista*, pero no un realista ingenuo.

Estadios en el desarrollo del pensamiento causal

Como no podría ser de otro modo en la perspectiva psicogenética, el sujeto atraviesa diferentes *niveles* en la construcción de su pensamiento causal, que siguen el ritmo característico de los niveles psicoevolutivos piagetianos. En cada uno de ellos ésta presentará características diferentes, según el sujeto esté en el nivel *sensomotor*, *preoperacional*, *operacional* o *formal* (Cfr. Piaget 1971, Thomas 1981, Vuyk 1981, Pozo 1987a).

El sujeto epistémico

Hay que advertir que Piaget cuando habla de niveles psicoevolutivos o de "estructuras" causales los está refiriendo al "sujeto epistémico", por oposición al "sujeto psicológico" (Lafuente 1977 p. 26, Vuyk 1981, p. 77 de la trad. cast.). El *sujeto epistémico* es definido por Piaget del siguiente modo:

- "*Es evidente, pues, que si hay que recurrir a las actividades del sujeto para dar cuenta de las construcciones precedentes, se trata de un sujeto epistémico, es decir, de los mecanismos comunes a todos los sujetos individuales del mismo nivel; dicho todavía de otro modo, del sujeto "cualquiera". Incluso tan "cualquiera", que uno de los más instructivos medios para analizar sus acciones es construir, mediante ecuaciones o mediante máquinas, unos modelos de "inteligencia artificial" y dar de él una teoría cibernética (...)*". (Piaget 1974, p. 81).

Mientras que el sujeto psicológico

- "*[se refiere] a las acciones propias y diferenciadas de cada individuo considerado aparte*" (Piaget 1965 p. 61)

El *sujeto epistémico* es, pues, el sujeto ideal operatorio; mientras que el *sujeto psicológico* es el sujeto real, cuyo comportamiento está ligado a contenidos concretos y específicos.

Las **investigaciones** sobre el pensamiento causal realizadas dentro de la tradición piagetiana han sido numerosísimas, y se han centrado fundamentalmente en replicar las experiencias de Piaget, en intentos de apoyar o refutar la noción de *estadio* o el ritmo

evolutivo prescrito por Piaget en el desarrollo del pensamiento causal de los sujetos. (Cfr., por ejemplo, Laurendeau y Pinard 1962, Jahoda 1969, 1958, Berzonsky 1970, 1971, 1973, 1974, Kuhn 1978, Thomas 1981, Bullock y otros 1982, Bullock 1985, Shultz 1982, Sexton 1983, Dolfín y Behrend 1984, Lesser y Paisner 1985, Krupa y otros 1985, Shultz y otros 1986, Levin y Simons 1986, Barrio 1988, Pérez 1990, etc).

1.5. NUEVA DELIMITACION DEL PROBLEMA

Volviendo a nuestro tema de delimitar el ámbito de nuestro estudio del pensamiento causal espontáneo, pensamos que debe limitarse al *pensamiento causal físico*. En este sentido podría parecer pertinente que utilizáramos el marco piagetiano para situar nuestra investigación. Pero en realidad tampoco nos parece adecuado: al tener la investigación en este marco la referencia al sujeto epistémico, y no al sujeto psicológico, queda fuera de nuestro interés, ya que queremos centrar nuestro estudio en averiguar cómo los sujetos individuales utilizan sus concepciones causales espontáneas en contextos concretos para explicar determinados fenómenos físicos que acontecen en esos contextos. De manera que, en primera aproximación, nuestro trabajo deberá desarrollarse fuera de los límites de las tradiciones tanto kelleyana como piagetiana.

En cuanto a la *naturaleza* del pensamiento causal espontáneo (causalista *versus* acausalista o asociacionista, en el sentido expuesto más arriba), *el tema hay que dejarlo abierto y debe ser objeto de nuestra propia investigación*. De manera que para poder responder a la Pregunta 2 anteriormente formulada, tendríamos que contestar antes a la siguiente:

- 2.1. ¿Cuáles son las características del pensamiento causal espontáneo que exhiben los sujetos cuando explican los fenómenos físicos que acontecen en su entorno?

El ámbito de *los fenómenos físicos* es también, evidentemente, demasiado extenso para ser abordado en los límites de esta investigación. Volvemos a necesitar otra acotación que nos delimite *algunos tipos de fenómenos físicos* en los que centrar nuestro estudio del pensamiento causal espontáneo. Antes de tomar una decisión al respecto, conviene revisar el lugar que ocupa la explicación causal en la ciencia actual, porque posiblemente los datos extraídos de este estudio podrán ayudarnos a acotar algún tema específico de particular interés para nuestro propósito.

1.5.1. EL TEMA CAUSAL EN LA CIENCIA ACTUAL

Después del debate que ha tenido lugar en el seno de la filosofía y epistemología de la ciencia a partir de los años 20 de este siglo, con el advenimiento de la teoría cuántica

(Forman 1971), hoy se habla del tema causal en la ciencia con mucha más mesura y sin ocultar la carga de *creencias* que hay detrás de cada postura científica⁵. A los debates abiertos entonces por Einstein y Planck con Bohr y Heisenberg (McKenzie 1960, French y Kennedy 1985) han sucedido los mantenidos por Bohm y Popper (Bohm 1957, 1980, Bohn y Peat 1987, Popper 1959, 1982, 1990) o por Thom y Prigogine (Wagensberg 1986). Entre los positivistas y neopositivistas lógicos sigue manteniéndose que la explicación en ciencias hace relación a la *coherencia* del discurso utilizado (Hempel 1965, 1966, Nagel 1961). Mientras que entre los filósofos de las ciencias que pudiéramos llamar de algún modo "realistas", se detecta cierta tendencia en afirmar que toda explicación científica es o debe ser *causal* (Salmon 1984, Cartwright 1983, Harré y Madden 1975, Harré 1988); y otros mantienen que no toda explicación científica es causal, sino que en la ciencia se utilizan explicaciones *legales* y *causales* (Ruben 1990, Achinstein 1983, Bunge 1959, 1980, 1985).

A nuestro modo de ver, se sigue observando hoy en algunos autores (más entre los científicos que entre los filósofos) la confusión terminológica entre "causalidad" y "determinación" ya apuntada por Bunge en su estudio de 1959. Esta obra de Bunge, considerada por los especialistas una de las más clarificadoras del tema en relación al papel que juega la explicación causal en las ciencias, nos ayudará a distinguir entre términos y a analizar los distintos tipos de explicación que hoy se consideran en las ciencias. En el apartado siguiente tomamos las distinciones de Bunge en este trabajo, limitándonos al tema de nuestro interés.

El estudio de M. Bunge (1959)⁶

Causalidad

Según este autor, habría que distinguir entre causación, principio causal y determinismo causal, o causalidad propiamente dicha.

- La *causación* se refiere a la conexión causal, tanto general como particular. Por ejemplo, la conexión que existe entre el fuego y las quemaduras que produce, en general; o entre *una* llama y *una* quemadura, en particular;

⁵ El encuentro sobre *Determinismo y Azar*, celebrado en Figueras en 1986 (Wagensberg 1986), es buena muestra de ello. En él científicos y matemáticos de reconocido prestigio internacional discutieron el tema, poniendo al día el estado de la cuestión. Quedando patente la irreductibilidad de sus *posturas teóricas*: Así, por ejemplo, R. Thom, matemático; Landsberg y Schatzman, físicos; y Margalef, biólogo, defendieron el determinismo causal. Mientras que Ludwig y Prigogine, físicos, defendieron en sus ponencias el punto de vista indeterminista. Ver referencias en la *Bibliografía*.

⁶ Mientras no advirtamos lo contrario, seguiremos en el apartado éste estudio de Bunge (1959).

- El *principio causal* es el enunciado de la ley de la causación, como, por ejemplo, *la misma causa produce siempre el mismo efecto*.
- El *determinismo causal*, o simplemente *causalidad*, es la afirmación de la validez universal del principio causal, tal como *todo tiene una causa, nada sucede en el mundo sin causa*.

Determinación

El determinismo causal no es el único que contempla la ciencia. De hecho, se pueden distinguir también varias acepciones del término:

- *Determinado* es aquello que tiene *características* definidas, y que, por tanto, puede caracterizarse de forma inequívoca.
- *Determinado* expresa una *conexión constante y unívoca* entre cosas y acontecimientos, o entre estados o cualidades de las cosas, así como entre objetos ideales.

Las conexiones constantes y unívocas no son necesariamente causales. Por ejemplo, la función $y = f(x)$ puede designar relaciones entre cualidades o entre intensidades de cualidades. Por ejemplo, en la ecuación.

$$v(t) = gt + v_0$$

que expresa la velocidad, $v(t)$, adquirida por un cuerpo en caída libre, después de haber transcurrido t segundos, donde g y v_0 son constantes, $v(t)$ es *determinada* por t , pero no es *producida* por t .

- *Determinado* también puede expresar la forma (acto o proceso) en la cual un objeto adquiere una propiedad, por ejemplo, la adquisición por objetos concretos de características *cuantitativas*, sin la emergencia de nuevas cualidades (determinismo mecanicista).

Pero ni el determinismo causal ni el determinismo mecanicista agotan las formas que puede adoptar el determinismo. Lo que haría falta admitir para afirmar el determinismo del mundo en sentido general, según el autor que venimos citando, sería: 1º) que los acontecimientos ocurren en una o más formas definidas (determinadas); 2º) que tales formas de devenir no son arbitrarias, sino legales; y 3º) que los procesos a través de los cuales todo objeto adquiere sus características se desarrollan a partir de condiciones preexistentes.

Dicho de otra manera, el determinismo general afirma que "todo depende de ciertas condiciones y sólo ocurre cuando estas condiciones se cumplen". Si el condicionamiento es regular, esto es, se adapta a modelos definidos, se le llama *legalidad*, es decir, conformidad

con una ley. Y *éste* es el tipo de condicionalidad que nos interesa, pues es el que trata de establecer la ciencia. Adviértase que aquí Bunge se refiere a que los hechos están determinados *según leyes*, no *por las leyes*. Las leyes nada determinan: son las *formas* o *pautas* de la determinación. Esta es una de las razones por las que *legalidad* y *determinación* no sean sinónimos.

Tipos de determinación

- *Autodeterminación cuantitativa*. Es la determinación del consecuente por el antecedente. Ejemplo: las sucesivas posiciones de un cuerpo macroscópico que se mueve libremente.
- *Determinación causal*. Determinación de un efecto por una causa eficiente (externa). Ejemplo: si se dispara contra una ventana, el vidrio se romperá.
- *Determinación interactiva* (o causación recíproca, o interdependencia funcional). Determinación del consecuente por acción recíproca. Ejemplo: las órbitas de una estrella doble son determinadas por su interacción gravitatoria.
- *Determinación mecánica*. Determinación del consecuente por el antecedente, por lo general con la adición de causas eficientes y acciones mutuas. Ejemplo: las fuerzas modifican el estado de movimiento de los cuerpos (pero el movimiento puede preexistir a la aplicación de las fuerzas).
- *Determinación estadística*. Determinación del resultado final por la acción compuesta de entidades independientes o semiindependientes. Ejemplo: resultados en el juego de dados; posibilidad de sexo masculino o femenino en el nacimiento de un bebé.

La determinación estadística, como también sucede en otros tipos de determinación, puede emerger de procesos ocurridos en niveles inferiores, en los cuales intervienen a su vez otras categorías de determinación.

- *Determinación estructural*. Determinación de las partes por el todo. Ejemplo: El funcionamiento de un órgano está parcialmente determinado por las necesidades del organismo en su totalidad. Pero es claro que el todo, lejos de ser anterior a sus miembros, es a su vez determinado por ellos.
- *Determinación teleológica*. Determinación de los medios por los fines u objetivos. Ejemplos: las aves construyen sus nidos "para" proteger a sus pichones; la estandarización es adoptada en la industria para reducir costes de producción.

El hecho de que ciertas estructuras, funciones y conductas estén dirigidas hacia determinadas metas, no significa necesariamente que alguien se lo haya propuesto de esa manera.

- *Autodeterminación cualitativa o determinación dialéctica.* Determinación de la totalidad de un proceso por una "lucha" interna, y por la eventual síntesis subsiguiente de sus componentes esenciales opuestos. Ejemplos: los cambios de estado de la materia a nivel macroscópico se producen por el juego recíproco y predominio final de las tendencias opuestas, la agitación térmica y la atracción molecular; los intereses en conflicto de grupos sociales, determinan los cambios de la propia estructura social de los grupos. Esta dialéctica interna, por oposición a la autodeterminación cuantitativa, implica cambios cualitativos.

Como puede deducirse de la explicitación anterior, el *determinismo causal* no es sino uno entre otros tipos posibles de determinación.

Formulaciones del Principio Causal

El Principio Causal, según el cual, *la misma causa produce siempre el mismo efecto*, "expresa mucho más que una relación: es una categoría de conexión genética, y, por lo tanto, del cambio; o sea, una forma de producir cosas nuevas, aunque sólo sea en número, a partir de otras cosas". Esta eficacia o productividad de la causa eficiente es lo que Bunge trata de poner de manifiesto en las distintas formulaciones que hace de este Principio. Para ello propone la siguiente:

Si ocurre C, entonces (y sólo entonces) E es siempre producido por él.

Este enunciado implica las siguientes formulaciones que no constituyen alternativas, sino que son aspectos parciales que deben darse simultáneamente en toda relación causal:

- *Constancia*, por la cual *si se produce C, sobrevendrá E invariablemente*.

Si C, es una condición ontológica para la ocurrencia de E.

- *Productividad*, o naturaleza genética del vínculo causal, que afirma que *E es siempre producido por C*.

- *Asimetría, o sucesión existencial*, que expresa que *el efecto E aparecerá siempre que se hayan satisfecho las condiciones resumidas por C, pero no necesariamente después de C*.

- *Univocidad*, que expresa que la relación entre C y E es tal, que *sólo hay un E para cada C y viceversa*.

- *Condicionalidad*, que desde el punto de vista ontológico asigna al término *Si C* el enunciado de las condiciones para la ocurrencia de *E*.

Cada una de estas formulaciones por sí misma constituye una formulación imperfecta del Principio Causal. De manera que en nuestro trabajo las denominaremos Principios Causales, sabiendo que sólo la utilización conjunta de todos ellos por parte de un sujeto podría significar que dicho sujeto utilizaría una concepción causal del tipo que Bunge caracteriza como *determinismo causal*, o *concepción causal ontológica*. En ésta la conexión causal pertenece al orden del ser de las cosas, no a la necesidad de coherencia del discurso relativo a las mismas.

Aceptando las anteriores explicitaciones del Principio Causal, habría que advertir:

- La causalidad es compatible con la contigüidad, pero no la implica. La causación y la acción próxima (localidad) son dos categorías lógicamente *independientes*.
- La causalidad es compatible con los nexos instantáneos. Lo que requiere es la precedencia existencial de la causa sobre el efecto.
- La causalidad requiere el mantenimiento persistente de la causa para asegurar la continuidad del proceso. La negación de esta afirmación implicaría aceptar que pueden darse sucesos incausados.
- Los cambios de estado de un sistema cerrado no pueden considerarse como causales, ya que no poseen ninguna cualidad de producción. Los estados no son causas, sino simplemente antecedentes de estados posteriores.
- Las expresiones matemáticas de leyes científicas, tanto diferenciales como integrales, no tienen por qué expresar relaciones causales; ya que tales expresiones pueden interpretarse en el sentido de que ciertos cambios son acompañados por ciertos otros cambios, y no necesariamente como que cierto cambio es *producido* por otro.

Del mismo modo, no puede confundirse la causación con la *dependencia funcional*, porque lo que las funciones expresan son relaciones constantes, que no tienen por qué ser (aunque a veces lo sean) relaciones de *producción* causal.

A este respecto, conviene apuntar que Bunge distingue entre *leyes* y *enunciados legales*. Las primeras (*leyes 1*) son las pautas objetivas del ser y del devenir. Pertenecen por lo tanto al nivel óntico; las segundas (*leyes 2*) son reconstrucciones

conceptuales de las primeras. Son las que se llaman, en general, leyes científicas; pertenecen al nivel gnoseológico⁷.

- No puede confundirse la causalidad con el mecanismo causal, ni a la mecánica con la causalidad, ya que puede haber causación no mecanicista (ej., el fuego produce quemaduras) y la mecánica no es enteramente causal (ej., principio de inercia).
- Pueden darse *diferencias de niveles* en la explicación causal de los hechos, de manera que en un nivel la explicación pueda considerarse causal y en otro se considere legal. En estos casos no hay diferencia esencial en la explicación del mismo hecho. Lo que sucede es que en un primer nivel explicativo se hace mención explícita de *hechos*, quedando implícitas las leyes que los rigen; mientras que en un segundo nivel explicativo se hace mención explícita de las leyes, quedando los hechos particulares como simple ejemplificación del enunciado legal. (ejemplos: retroceso de las armas de fuego; ley de Ohm en circuitos simples).

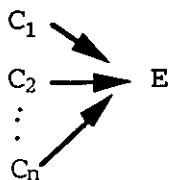
Estructura causal

La forma prototípica de la relación de la causa con el efecto que produce es la que pone en conexión una causa con su efecto, o causalidad simple:



Según Bunge esta relación puede adoptar distintas formas, compatibles con el Principio Causal, siempre que cumplan una serie de requisitos. Son las siguientes

- * La causación es compatible con pluralidad de causas y pluralidad de efectos en los siguientes casos;
- a) Conjunto finito de causas, produciendo un único efecto o causación conjuntiva múltiple:

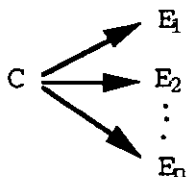


⁷ Esta distinción de Bunge nos recuerda en ciertos aspectos la mantenida por Meyerson (1908) entre *causalidad* y *legalidad*: la *causalidad* hace relación al orden de las cosas en el mundo; la *legalidad*, a las leyes inventadas por el intelecto humano, que trata de matematizar ese orden de la realidad.

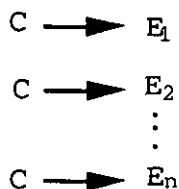
En este caso las causas C_1, C_2, \dots, C_n actúan conjuntamente y se comportan como una totalidad en la producción del efecto E . Si simbolizamos con C la acción conjunta de C_1, C_2, \dots, C_n , este caso podría asimilarse a la causalidad simple $C \rightarrow E$.

Hay casos de causalidad conjuntiva múltiple donde el complejo causal C puede descomponerse en una gradación jerárquica. En este caso se puede hablar de la *causa primaria*, o perturbación de primer grado, perturbación de segundo grado, etc.

b) conjunto finito de efectos producidos por una sola causa:

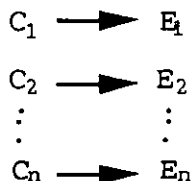


En este caso, para cada E_i debería poder considerarse que

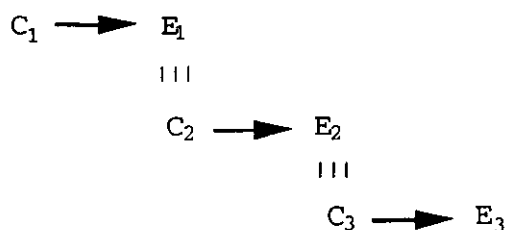


En cuyo caso también se reduciría a la causalidad simple.

c) Conjunto finito de causas $\{C_i\}$ y conjunto finito de efectos $\{E_i\}$. Se debería poder establecer entre ambos conjuntos una correspondencia biunívoca, ya que entonces se pueden descomponer los conjuntos de manera que



- * La causalidad es compatible con la superposición de causas: las causas pueden sumarse o restarse, o pueden interferir de forma constructiva o destructiva, como en el caso de las ondas.
- * La causalidad es compatible con las cadenas causales simples aisladas, en las que un efecto es a su vez causa de otro:



Según Bunge, el requerimiento de que las cadenas causales tengan que considerarse aisladas, hace que sean siempre "*un tocosco modelo del devenir real*" (p. 161).

1.5.2. FORMULACION DEL PROBLEMA A INVESTIGAR

En el Cuadro 1.6 se presenta una síntesis de algunos aspectos del estudio de Bunge que han resultado de interés para nuestro trabajo. En él encontramos algo que puede ayudarnos a decidir en qué ámbito del mundo físico deberíamos centrar nuestra investigación. Nos referimos a lo que Bunge describe como *Sistemas Determinados Mecánicos*, caracterizados por estar gobernados por la dinámica clásica newtoniana. En estos sistemas se combinan aspectos de la autodeterminación cuantitativa (eje., principio de inercia), de la determinación causal (eje., $f = m.a$), y de la determinación interactiva (eje., principio de acción y reacción).

| TIPO | NATURALEZA | ESTATUS | EVOLUCION | EJEMPLOS |
|---|-----------------|---|---------------|--|
| Autodeterminación cuantitativa | Interna | Legalidad | Reversible | Sistemas aislados -mov. libre |
| Determinación causal | Externa | Causalidad Legalidad | No reversible | Sistemas no aislados -disparo y vidrio roto - $F=ma$ |
| Determinación interactiva (causación recíproca o interdependencia funcional) | Interna | Legalidad | Reversible | Sistemas aislados -leyes de acción y reacción -sistema de estrellas dobles |
| Determinación mecánica | Interna+externa | Legalidad + Causalidad ó Causalidad | No reversible | Sistemas no aislados -fuerza instantánea modificando el estado de movimiento de un cuerpo |
| Determinación estadística | Interna | Legalidad | No reversible | Sistemas no aislados -juegos de azar |
| Determinación estructural | Interna | Legalidad | No reversible | Sistemas aislados -Función de un órgano en el cuerpo |
| Determinación teleológica | Interna | Legalidad | No reversible | Sistemas no aislados -seres vivos |
| Determinación dialéctica | Interna | Legalidad | No reversible | Sistemas aislados -cambios sociales |

CUADRO 1.6. Tipos de determinación. Según Bunge 1959.

Es decir, en el análisis de un *sistema mecánico* (siguiendo la terminología de Bunge), un sujeto podría, o no, detectar, o describir en su funcionamiento, aspectos causales (2° principio de Newton) y no causales (1° y 3° principios de Newton). Al dejar abiertas estas posibilidades, podría detectarse en su comportamiento las tendencias causalistas o acausalistas, que se pondrían de manifiesto al dar cuenta del funcionamiento de este tipo de sistemas.

Por otra parte, el tema de la dinámica elemental ha sido quizá el más estudiado en la literatura relativa a las ideas espontáneas de los sujetos (solamente entre 1988 y 1991 Pfundt y Duit reseñan unos 150 nuevos artículos sobre el tema). Lo cual nos libera de documentar cuáles son las ideas espontáneas de los sujetos en ese campo, por encontrarse ya ampliamente descritas, y nos permitirá centrarnos en las concepciones causales que los sujetos utilizan al explicar cómo funcionan esos tipos de sistemas. De esta manera podríamos detectar cuál es la concepción causal espontánea del sujeto y comprobar si la explicación del funcionamiento del sistema que esté examinando es coherente o incoherente desde el propio punto de vista del sujeto.

Con esto, ahora sí estamos en condiciones de limitar apropiadamente el ámbito de la cuestión con la que abríamos el apartado 1.5, que ahora podría formularse como sigue:

- 2.1. *¿Cuáles son las características del pensamiento causal espontáneo que exhiben los sujetos cuando explican los fenómenos físicos que acontecen en su entorno, particularmente, los regidos por la dinámica elemental?*

Con lo que las cuestiones a las que queremos contestar con nuestro trabajo quedarían, en definitiva, planteadas de la forma siguiente:

1. *¿Es el pensamiento espontáneo de los sujetos incoherente, o se podría encontrar algún modo de coherencia en los datos empíricos aportados por la investigación?*
2. *¿Podría una lectura de los datos, realizada desde el pensamiento causal espontáneo de los sujetos, aportar un marco de referencia para mostrar la coherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos?*
- 2.1. *¿Cuáles son las características del pensamiento causal espontáneo que exhiben los sujetos cuando explican los fenómenos físicos que acontecen en su entorno, particularmente los regidos por la dinámica elemental?*

De esta manera, contestada la *Cuestión 2.1.* estaríamos en condiciones de aportar una contestación a la *Cuestión 2*, y contribuir al esclarecimiento de la cuestión planteada en la *Cuestión 1*, por lo menos en el ámbito de la dinámica elemental.

También intentaremos sacar partido de nuestros resultados y comprobar si la misma lectura desde el pensamiento causal del sujeto, así detectado, podría aplicarse a otros datos independientes, obtenidos en otras investigaciones, y ver si desde esta perspectiva adquiere algún grado de coherencia lo que hasta ahora se ha interpretado como incoherente. Este otro objetivo de nuestra investigación habrá que delimitarlo más adelante.

Pero antes de seguir nos interesa ver qué es lo que se ha investigado en torno al tema causal en Didáctica de las Ciencias y en otro campo que ha resultado ser especialmente interesante para nuestro propósito: el de la Inteligencia Artificial.

2. LA CAUSALIDAD EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA MODELIZACION DEL SENTIDO COMUN

2.1. "THE FRAME PROBLEM"

La elaboración de un programa que permitiera a una máquina tener un comportamiento inteligente con las características que exhiben los humanos cuando utilizan su sentido común, ha sido un tema que ha ocupado desde el principio a los investigadores en IA¹. Baste saber que los historiadores de esta disciplina señalan la reunión de Dartmouth College, en el verano de 1956 (McCorduck 1979, Gardner 1985) como el inicio de la misma; y ya en 1958, McCarthy, uno de los fundadores del campo, presenta su trabajo *Programs with common sense* en el *Symposium Mechanisation of thought Processes* celebrado en Londres (McCarthy 1958). En el inicio mismo del laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT (Massachusetts Institute of Technology) este problema también constituyó un tema prioritario de su programa de investigación. Lo cuenta así Minsky, su fundador:

"En 1959 John McCarthy vino de Dartmouth al MIT, y pusimos en marcha el Proyecto de Inteligencia Artificial del MIT. Estuvimos de acuerdo en que el problema más crítico era la manera en que la mente realiza el razonamiento de sentido común. A McCarthy le preocupaba más determinar los fundamentos lógicos y matemáticos del razonamiento, mientras que yo me dedicaba más a las teorías sobre la forma en que en realidad razonamos utilizando el reconocimientos de pautas y la analogía" (Minsky 1986, p. 338 de la trat. cast. Enfasis nuestro).

La cita de Minsky también es ilustrativa de cómo desde el primer momento (Kolata 1982) el problema se aborda con dos presupuestos metodológicos diferentes: un grupo de investigadores seguirá la idea de McCarthy, partiendo del supuesto de que existirá alguna forma de lógica que servirá para modelizar el razonamiento del sentido común (McCarthy 1963, 1980, 1986, McDermott y Doyle 1980, Reif y Heller 1982, McDermott 1982, 1985, Israel 1985, Pollock 1987); mientras que otros mantendrán, siguiendo la intuición de Minsky, que el razonamiento de sentido común nunca podrá modelizarse con un lenguaje lógico (Minsky 1968a, 1974, 1984, Forbus 1981, 1983a, Allen y Kautz 1985, Kobsa 1987, Garnham 1988a, Sloman 1990).

Ambos grupos se encuentran con un problema fundamental para resolver, conocido como *"The frame problem"*. Con este nombre se designa en IA una variedad de problemas que se podrían reducir fundamentalmente a dos: uno relativo a la *representación* (qué

¹ Siempre, a partir de ahora, notaremos en el texto IA por Inteligencia Artificial.

aspectos del mundo sería necesario modelizar para introducirlos en la computadora); y otro relativo a la *transición* (cómo es posible hacer predicciones desde un estado del mundo al siguiente; o lo que es lo mismo, cómo un modelo dado se transforma o modifica de un estado a otro). Ambos aspectos, *representacional e inferencial* están, obviamente, relacionados. El problema, detectado ya por McCarthy en 1963, se expone más adelante por el mismo McCarthy y Hayes (1969) en toda su profundidad y complejidad. Hoy día sigue siendo un tema crucial en IA, y continúa sin alcanzarse una solución satisfactoria (Reinfrank y otros 1989, Sterelny 1990, Davis 1990, VanLehn 1991).

2.2. CAUSALIDAD Y SISTEMAS DE INFERENCIA.

En la búsqueda de la solución del "frame problem" hay investigadores de una u otra tendencia que han tratado de modelizar *un sistema de inferencia causal* para dotar a la máquina de poder predictivo, es decir, para que pueda derivar un estado futuro a partir de un cierto estado presente. Esta es la intención fundamental, por ejemplo, dentro de la tradición McCarthyana, de los trabajos de Schank (Schank 1972, 1975, Schank y Abelson 1977, Schank 1982); de Rumelhart y colaboradores (Rumelhart, Lindsay y Norman 1972, Rumelhart 1975, Rumelhart y Ortony 1977, Rumelhart 1980, Rumelhart y Norman 1985), al diseñar sus *guiones* o *esquemas*, con la incorporación de reglas causales dentro de *escenarios* acotados en el espacio y en el tiempo, regidos por reglas de producción; de Hayes (1979, 1985a), con su noción de *historia*, también acotada en el espacio y en el tiempo; de Pearl (1987, 1988), y de Iwasaki y Simon (Iwasaki y Simon 1986a, 1986b, Simon 1991), éstos últimos utilizando una lógica no monótona, más sofisticada, en sus sistemas de inferencia.

Estas ideas se han puesto en la práctica, con su implementación en Sistemas Expertos, particularmente en los *Tutores Inteligentes* de la última generación (Lehnert y otros 1983, Cooper 1984, Anderson y otros 1985, Gilmore y Self 1988, Wachsmuth 1988, Lamberts 1990).

Del mismo modo, y en una línea minskyana, se han diseñado sistemas de inferencia causales teniendo como referencia los procesos de razonamiento humano. A este grupo pertenecerían, por ejemplo, los trabajos de Kleer (1975, 1977, 1979, 1984, de Kleer y Brown 1986), de Weld (1985, 1986), de Williams (1984, 1986), y de Shoham (1988, 1990, 1991).

En la línea de implementación en Sistemas Expertos de las ideas de este segundo grupo estarían los trabajos de Kuipers y Kassirer (1983, 1984), de Berlandier y Moisan (1988) y de Cox y otros (1988).

2.3. CAUSALIDAD Y FISICA DE SENTIDO COMUN.

Dentro del gran campo de la modelización del sentido común en IA, son particularmente interesantes para nuestro propósito los trabajos realizados para diseñar programas que simulen el comportamiento humano, cuando los sujetos manejan una *física de sentido común* (no aprendida en el colegio, o en los libros de física) para enfrentarse con el mundo y resolver problemas. Las investigaciones realizadas han seguido dos líneas fundamentales, que expondremos a continuación.

2.3.1. EL MANIFIESTO DE LA FISICA INGENUA

P. J. Hayes publica por primera vez su *The naïve Physics Manifesto* (Manifiesto de la Física Ingenua) en 1979, y en 1985 publica una revisión del mismo (Hayes 1979, 1985a). Lo presenta como una propuesta de *programa de investigación*, en el sentido lakatosiano del término, es decir, como una propuesta que haría confluir los distintos proyectos de investigación que trataban de modelizar el pensamiento de sentido común en uno sólo. Esto exigía seguir una serie de presupuestos y objetivos mínimos (abandono del estudio de problemas "de juguete" (*toy problems*), trabajo a largo plazo, no querer implementar las ideas a cualquier coste, etc.), para alcanzar una meta común: "*construir una formalización de una gran parte del conocimiento del sentido común sobre el mundo físico*"

Según Hayes, si ésta formalización existiera, estaría expresada en algún tipo de lógica de primer orden, y consistiría en un conjunto de proposiciones o axiomas, que expresarían *relaciones, funciones y símbolos constantes*. Dicho con un lenguaje análogo al desarrollado en la teoría de los esquemas, las proposiciones del lenguaje formal expresarían *cabeceras* o nombres de esquemas, *valores por defecto, nudos, y arcos de unión* entre nudos. Por ejemplo, los nudos serían los *conceptos*, y los arcos de unión las *relaciones* que existieran entre ellos. En una física ingenua así conceptualizada, todos los conceptos estarían relacionados por una *teoría* (conexiones axiomáticas entre ellos); pero la *densidad* de relaciones entre conceptos no tendría por qué ser homogénea en toda la extensión de la teoría. Habría grupos de conceptos que estarían más relacionados entre sí que con otros. A estos grupos de conceptos Hayes los denomina *clusters*.

Para Hayes la primera tarea en la elaboración de una física ingenua sería la detección y formalización de clusters. Sólo en un segundo momento los investigadores se ocuparían de la tarea de poner en conexión los diferentes clusters para elaborar una teoría de largo alcance, que pondría en conexión todos los clusters entre sí. Hayes detecta diferentes clusters: *escala de medidas; forma, orientación y dimensión; dentro-fuera; historia; energía y esfuerzo;*

*conjuntos y trozos de sustancias; soporte; sustancias y estados físicos; fuerzas y movimiento*²; y describe con detalle uno de ellos, el relativo a *líquidos* (Hayes 1985b),

Tanto en 1979 como en 1985, Hayes advierte que *la causalidad no es un cluster*, ya que:

- "*No hay una teoría útil, más o menos independiente, de la causalidad. Causalidad es una palabra para lo que sucede cuando otras cosas suceden, y lo que sucede depende de las circunstancias*" (1979 p. 246, 1985a p. 18. Énfasis del autor)

En la redacción de 1985 aparece expresada la *concepción causal* claramente humeana de Hayes:

- "*Si todo lo que se sabe es que A causó B, lo único que se puede concluir es que A precede a B*" (Hayes 1985a p. 19. Énfasis del autor).

De ahí que, metodológicamente, uno de los cometidos de los clusters, según Hayes, sea el de *acotar la causalidad* para hacer la predicción posible (casos de los cluster *dentro-fuera e historias*). Esto no puede ser de otra forma, ya que una causalidad asociativa, abstraída de la sola experiencia con el mundo, sería incapaz de explicar la predicción de situaciones nuevas, que se salieran de los "límites" de la realidad que acotan los clusters para la computadora. De esta manera, la solución para el "frame problem" que propone Hayes para su universo de la física ingenua, no aporta muchas ventajas sobre las ya apuntadas, por ejemplo, en la teoría de los esquemas.

El Manifiesto de la Física Ingenua ha tenido un gran impacto dentro de la comunidad que investiga en IA, que ha recogido el desafío de la modelización de una física de sentido común. Pero son pocos los que han seguido sus propuestas metodológicas (Israel 1985, Gardin y Meltzer 1989)³

2.3.2. LA FÍSICA CUALITATIVA

El objetivo que persiguen los investigadores que se encuadran en esta línea de investigación es la construcción de una física que dé cuenta de los fenómenos del mundo físico en términos *cualitativos*.

² Citamos los nombres que Hayes da a los clusters en 1979, aunque en 1985 los modifica ligeramente, por parecernos éstos más expresivos y ser los contenidos prácticamente los mismos.

³ Desde un punto de vista didáctico, las ideas de Hayes encierran mucha potencialidad, particularmente en lo relativo a lo que podría ser la elaboración de una ontología de sentido común. Algunos de los clusters por él detectados presentan cierto parentesco con las categorías metafísicas clásicas de *espacio, tiempo, materia, relaciones* entre los cuerpos materiales, *cualidades* de la materia, etc. Aunque hay investigadores que se han inspirado en el *Manifiesto* para sus trabajos (Cfr. Ogborn 1985, Ogborn y Bliss 1990, Whitelock 1991a), esta perspectiva -en lo que conocemos- ha pasado desapercibida dentro de la Didáctica de las Ciencias.

Mientras la física convencional proporciona una descripción de los sistemas físicos en términos de valores exactos de las variables que intervienen en los mismos (fuerzas, velocidades, presiones, etc.) para cada instante de tiempo, la física cualitativa proporcionaría sus descripciones basándose en descripciones cualitativas de las situaciones y de las leyes físicas. La primera ofrece descripciones *completas*; pero dice muy poco acerca de *cómo funcionan* los sistemas. Las descripciones que aportaría la segunda no serían tan completas, pero sí ofrecerían una *explicación* de *cómo funcionan* los sistemas. Este sería el tipo de física a que recurren los humanos cuando utilizan su sentido común para explicar los fenómenos que ocurren a su alrededor. Es decir, la física de sentido común que habría que modelizar para introducirla en una computadora sería una física *cualitativa*.

Hay al menos dos presupuestos fundamentales que unifica a este grupo, y que lo distingue del anterior. Son estos (Bobrow 1984):

A) *La descripción del comportamiento del sistema tiene que derivarse de la estructura del mismo.*

Es decir, la física cualitativa define siempre una relación entre la estructura de un sistema y su funcionamiento, de manera que éste queda determinado por aquella.

B) *Los efectos se propagan en el sistema localmente, a través de conexiones específicas.*

Esto implica que las *explicaciones del comportamiento de un sistema son siempre causales*.

Distintos autores han llevado a la práctica los presupuestos anteriores de diversas maneras (de Kleer 1987, diSessa 1987). Así, Kuipers describe la estructura del sistema como una *estructura causal con determinados condicionantes* (Kuipers 1984); Forbus describe la estructura del sistema haciendo explícitos los *procesos potencialmente presentes*, siendo estos procesos los que *causan los cambios* en el sistema a través del tiempo (Forbus 1983a, 1983b, 1984, 1985, Forbus y otros 1987); de Kleer y Brown describen los *componentes de la estructura y derivan causalmente* el comportamiento del sistema en su conjunto a partir de los comportamientos de cada componente individual (de Kleer y Brown 1981, 1983, 1984).

Las ideas de Kuipers, Forbus y de de Kleer y Brown se han difundido ampliamente, han servido de inspiración a muchos trabajos, se están llevando a la práctica, y los presupuestos de la física cualitativa se han discutido teóricamente por las repercusiones que pueden tener en la elaboración de una epistemología de sentido común (Cfr., por ejemplo,

Williams y otros 1983, Faltings 1987, Hegarty y otros 1988, DiManzo y otros 1988, Petitot y Smith 1990, Morton 1990, Tiles y otros 1990, Kurtz 1992).

El *concepto de causalidad* que manejan estos autores se identifica con una causalidad generativa, que seguiría el *Principio causal* tal como lo expone Bunge (Kurtz 1992, Gutierrez 1990) y ya vimos anteriormente (Cfr. Cap. 1). Para nuestro propósito es particularmente interesante la explicitación que hacen de Kleer y Brown de su modelo de Física Cualitativa. Por esta razón dedicaremos a este tema el apartado siguiente.

2.4. EL PROYECTO DE FÍSICA CUALITATIVA DE DE KLEER Y BROWN

De Kleer y Brown elaboran su proyecto de Física Cualitativa basándose en el estudio de los *modelos mentales* intuitivos que construyen los sujetos acerca del mundo físico. Por tanto, antes de comenzar a explicar su teoría conviene que hagamos una breve introducción al tema de los modelos mentales.

2.4.1. QUÉ ES UN MODELO MENTAL

A pesar de que la idea de *modelo mental* fue ya expresada por Craik en 1943 (Cfr. Johnson-Laird 1980), su elaboración como constructo psicológico es mucho más tardía. Posiblemente haya sido Johnson-Laird el autor que más ha trabajado en su definición y elaboración científica dentro de la psicología (Johnson-Laird 1970, 1975, 1977, 1980, 1982a, 1982b, 1985, 1988a, 1988b). Pero fueron dos libros publicados en 1983, *Mental Models*, del mismo Johnson-Laird, y *Mental Models*, compilación de Gentner y Stevens, los que en cierto modo consagraron el término y consiguieron que tuviera en psicología cognitiva y en IA el estatus de "clásico".

Actualmente es difícil encontrar un manual o un libro especializado en el campo de la Ciencia Cognitiva que no dedique un capítulo o un apartado al tema de los modelos mentales (Cfr., por ejemplo, Anderson y Kosslyn 1984, de Vega 1984, Aitkenhead y Slack 1985, Hobbs y Moore 1985, Rumelhart y otros 1986, Perkins 1986, Holland y Quinn 1987, Claxton 1988, Self 1988, Mandl y Lesgold 1988, Resnick 1989, Wellman 1990, Light y Butterworth 1992).

Con la difusión del término, el concepto ha recibido distintos nombres, de manera que, aunque permaneciendo su significación, la terminología que utilizan algunos autores puede prestarse a confusión. Así, Kuhn (1989), Medin y Wattenmaker (1987), y Keesing (1987) los llaman *teorías intuitivas* o espontáneas; McCauley (1987) y Neisser (1987b), *modelos idealizados cognitivos*; Clancey (1986, 1988a) *modelos cualitativos*; Quinn y Holland (1987) y Kempton (1987) *imágenes-esquema*. Aunque la utilización de distintos

nombres responde a deseos de matizaciones específicas, los elementos comunes a que responde el concepto de modelo mental son recogidos por todos los autores, y son los que sintetizamos a continuación.

Propósito y elementos del modelo mental

La gente, cuando interacciona con otras personas, con el medio ambiente y con artefactos tecnológicos, se forma modelos mentales internos acerca de ellos mismos, de los otros y de las cosas con las que interaccionan (Norman 1983). Estos modelos poseen el suficiente *poder explicativo* y *predictivo* como para que los sujetos puedan comprender esa interacción. El *propósito*, pues, de un modelo mental es facilitar al sujeto la *comprensión* de un sistema (físico o social) y *anticipar* su comportamiento.

Para que esto sea posible, el modelo mental debe realizar los siguientes procesos característicos (Johnson-Laird 1983):

- "Traducir" sistemas y procesos externos a una *representación interna* de los mismos, en términos de palabras, números u otros símbolos.
- Obtener, a partir de lo anterior, y mediante algún tipo de *proceso inferencial*, otros símbolos.
- "Retraducir" estos últimos símbolos en *acciones*, o al menos en algún modo de reconocer *si existe o no correspondencia* entre éstos y los fenómenos observados en el sistema exterior.

En la Figura 2.1 se representan estos procesos característicos, así como sus relaciones.

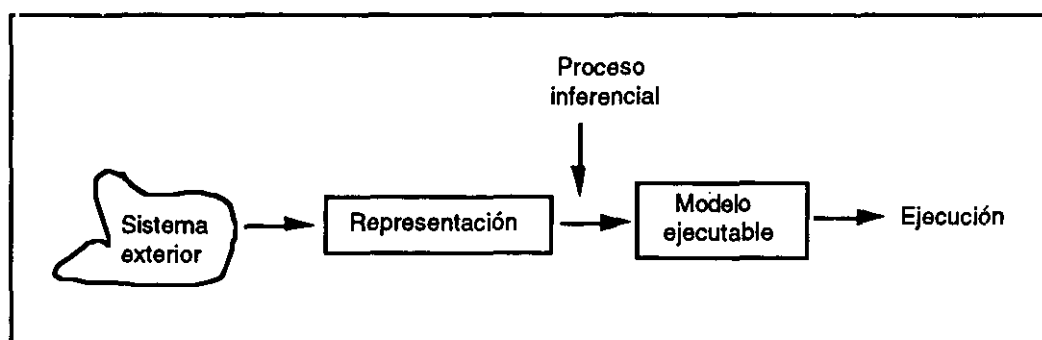


FIGURA 2.1. Elementos característicos clásicamente considerados en el estudio de los modelos mentales

En general, los modelos no son copia exacta de los objetos que se modelizan. Como expresa Minsky (1968b, p. 426):

- *"Para un observador B, un objeto A* es un modelo de un objeto A, en la medida en que pueda utilizar A* para responder a cuestiones de interés para él en relación a A".*

Del mismo modo, los modelos mentales no necesariamente contienen una "traducción" de todos los elementos de la realidad que modelizan. Su contenido depende de las cuestiones que el "usuario" B (en terminología de Minsky) quiera (o esté preparado para) contestar acerca del sistema u objeto A. Por ejemplo (Johnson-Laird 1983, p. 3): el modelo mental de una TV puede estar constituido por una especie de caja con pantalla, que produce imágenes y sonidos, que funciona enchufándose a la red eléctrica y que se controla con botones. A mucha gente este modelo mental le resulta suficiente para "interaccionar" con la televisión que tiene en casa y no necesita más. No es éste el caso de un técnico que se dedique a reparar televisiones. Su modelo mental debe tener diferenciados otros tipos de elementos, como tubo de rayos catódicos, circuitos integrados, capacitores, resistores, transistores,... Pero probablemente el modelo mental de este técnico no necesite tener explicitado ningún elemento relativo a la electrodinámica cuántica para poder reparar (y predecir los resultados de su reparación) una televisión casera.

Esto nos lleva a otro aspecto que consideramos importante subrayar: los modelos mentales poseen un "nivel óptimo" de información explícita. Este "nivel óptimo" depende de las necesidades del "usuario", o del sujeto que se maneja en el mundo utilizando ese modelo mental. El nivel óptimo lo "conoce" el usuario (normalmente de manera implícita). Así cuando "ejecuta" su modelo mental y compara los resultados de esta ejecución con lo que está sucediendo en el sistema exterior, "sabe" si necesita más información para añadir a su modelo mental, para que su poder predictivo aumente (previsión del comportamiento del sistema), o si añadir más información lo único que va a producir en su modelo mental es aumentar el "ruido" y no facilitarle la comprensión. Esto implica que los sujetos poseen un "sistema" que les permite "evaluar", "corregir" o "mejorar", sus modelos mentales; es decir, poseen un sistema para *aprender a construir "mejores" modelos mentales* ("mejor" en el sentido relativo a la función que el modelo mental tenga que cubrir)⁴.

El proceso inferencial

Johnson-Laird desarrolla el concepto de modelo mental en el campo de la psicolingüística y con el propósito de modelizar un mecanismo de razonamiento alternativo a las reglas lógicas de los sistemas de producción. En este sentido:

⁴ Coincidimos con Minsky (1968b) en afirmar que la bondad de un modelo no puede fundamentarse objetivamente sin hacer referencia al usuario del mismo.

- *"La teoría de los modelos mentales es quizás la alternativa más radical a cualquier conceptualización del razonamiento en términos de reglas de inferencia"* (Giroto y Light 1992, p. 153).

Johnson-Laird pretende con ello dar una solución al problema de representar el pensamiento de los humanos, que parecen no utilizar una lógica deductiva, en el sentido tradicional del término, cuando razonan para resolver los problemas ordinarios que se les presentan al interaccionar con el mundo (Wason y Johnson-Laird 1972). Para ello, desarrolla un sistema de razonamiento *semántico*, que se adaptaría mejor a los datos de la psicología (por ejemplo, daría cuenta de la influencia del contexto en la solución de los problemas, algo que no podrían captar las reglas deductivas de la lógica formal) y a los modelos de silogismos que los humanos parecen utilizar en sus razonamientos ordinarios.

Aunque investigadores posteriores han conceptualizado el sistema de inferencia de los modelos mentales de diversas maneras, la modelización del mismo ha conservado ésta característica (Ver, por ejemplo, discusión del tema en Stennig 1992, Byrne 1992, Rutherford 1992, Vos y otros 1989).

Plausibilidad psicológica

La plausibilidad psicológica del constructo *modelo mental* es hoy ampliamente aceptada entre los investigadores. Así, Quinn y Holland se refieren a

- *"...la habilidad, desde la psicología, de la investigación en modelos mentales para especificar un proceso cognitivo, el razonamiento con imágenes-esquemas, que puede resultar central para dar cuenta desde la lingüística y la antropología de los modelos culturales⁵ en todos los dominios de la experiencia"* (Quinn y Holland 1987, p. 29).

Del mismo modo se expresan Resnick (1989) y Rogers (1992a):

- *"Las teorías sobre modelos mentales (Getner y Stevens 1983; Johnson-Laird 1983) son centrales en la investigación en ciencia cognitiva, por los modos en que caracterizan las relaciones entre el pensamiento y sus símbolos. Aprender acerca de algo, llegar a comprenderlo, es en el modo de hablar normalmente de la ciencia cognitiva, construir un modelo mental"* (Resnick 1989, p. 4. Énfasis del autor).

- *"El concepto de modelo mental se ha manifestado en la teorización y en la práctica psicológica en una multitud de formas que están en primera línea en la investigación psicológica actual. Desde la psicología cognitiva teórica básica, hasta los problemas prácticos de la interacción hombre-computadora y sistemas*

⁵ "Cultural model" es sinónimo para estos autores de "folk model" o *modelo intuitivo* sobre el mundo (Cfr. Holland y Quinn 1987 p. ix). De igual modo, como ya apuntamos, el término "image-schema" es sinónimo de "mental model" (Cfr. Quinn y Holland 1987, p. 29).

hombre-máquina, los modelos mentales están siendo utilizados actualmente para explicar un amplio rango de fenómenos psicológicos" (Rogers 1992a, p.1).

De hecho en los últimos diez años, y en progresión creciente, los modelos mentales se han utilizado para investigar la *comprensión de textos* (Garnham 1988b, Kintsch 1989, Beck y McKeown 1989, Perfetti 1989); el *conocimiento situado* (Hatano y Kayoto 1992); el *cambio conceptual* (Kuhn 1989); el *razonamiento predictivo* (Rodrigo y otros 1992, Castañeda y Rodrigo 1993); la *resolución de problemas* (Smyth y otros 1987, Green 1988, Chi y otros 1989, Kempton 1987, Holyoak 1984); las *habilidades cognitivas* (Payne 1988, 1992, Rogers 1992b, Bainbridge 1992); el *aprendizaje de las matemáticas* (Gelman y Greeno 1989, Leinhardt 1989, Nesher 1989); la *modelización del estudiante en ITS (Intelligent Tutoring Systems)* (Clancey 1986, 1988); en *antropología* (Keesing 1987, Quinn y Holland 1987); en *sociología* (Manktelow y Over 1992, Leiser 1992, Rutherford 1992); en *instrucción en general* (Bibby 1992b, Duff 1992, Rogers 1992c); etc., etc. Y sus *elementos teóricos* han sido estudiados, entre otros, por Streitz (1988), Collins y Gentner (1987), Perkins (1986), O'Malley y Draper (1992), Hegarty y otros (1988), Rogers y otros (1992), Rodrigo (1993a, 1993b).

2.4.2. EL MODELO MENTAL MECANICO DE DE KLEER Y BROWN

Como apuntamos antes, de Kleer y Brown llevan a cabo la modelización de su Física Cualitativa utilizando un lenguaje de primitivas que utiliza como constructo teórico los elementos característicos de un modelo mental.

Tanto J. de Kleer como J. S. Brown han trabajado durante años en la conceptualización de modelos cualitativos dentro de la IA (de Kleer 1975, 1977, 1979, Brown y Burton 1975, 1978, Brown y otros 1978, Brown y VanLehn 1980). De 1981 a 1984 publican juntos una serie de tres artículos: en el primero (1981), *Mental model of Physical mechanisms and their acquisition* (Modelos mentales de mecanismos físicos y su adquisición) y en el segundo (1983), *Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models* (Convenciones y ambigüedades en los modelos mecánicos), desarrollan los conceptos teóricos que fundamentan la caracterización de los *modelos mentales mecánicos*; en el tercero (1984), *A Qualitative Physics based on confluences* (Una Física Cualitativa basada en confluencias), sientan las bases para la formalización de una física de sentido común, generalizando y formalizando los conceptos expuestos en los artículos anteriores, aplicándolos, por razones metodológicas, a los sistemas físicos dinámicos. Aunque advierten que para sus elaboraciones no han realizado ningún tipo de experimentación psicológica propiamente dicha (1983 p. 180), señalan que basan su teoría en su experiencia

como observadores de la conducta humana, y en sus conversaciones con distintos sujetos acerca del modo práctico de proceder en la resolución de problemas.

La explicación en la Física clásica y en la Física cualitativa

Según de Kleer y Brown, lo característico de una física cualitativa, o de sentido común, es que *su objetivo fundamental es la explicación del cambio físico*.

La explicación del cambio físico que elabora la física cualitativa tiene características distintas de las explicaciones del cambio físico que ofrece la Física tradicional. Para de Kleer y Brown la explicación del cambio en una física cualitativa es siempre *causal*, mientras que la explicación del cambio que ofrece la ciencia es de tipo *legal*, y no tiene, en principio, que ser expresada en términos causales. De aquí, según de Kleer y Brown, las dificultades que tienen los sujetos para asimilar las explicaciones científicas del cambio, que no son acordes con las explicaciones construidas por el sentido común. Por ejemplo, un movimiento inercial no es causado. Su movimiento se explica en la física clásica *legalmente*, es decir, se explica porque existe una ley en mecánica clásica que prescribe la conservación de la cantidad de movimiento. Sin embargo, en la física cualitativa de de Kleer y Brown, todo movimiento (porque existe un cambio) necesita una causa que lo justifique. De manera que el sujeto que se maneja con esta física cualitativa, construirá un modelo mental del sistema físico que está observando que *explicará* el cambio observado y *predecirá* su evolución *de manera causal*. Se "inventará" una causa que explique el movimiento. A este tipo de causalidad de Kleer y Brown la denominan *causalidad mítica*.

Lo mismo que en física clásica para llegar al enunciado de las leyes se hacen convenciones "ad-hoc" para los sistemas en los que rigen esas leyes (por ejemplo, para explicar la evolución de un sistema en equilibrio se conviene en la aproximación cuasi-estática, por la cual se postula que el sistema pasa instantáneamente de un estado de equilibrio a otro sin pasar por ningún estado de desequilibrio intermedio), *en la física cualitativa también se hacen convenciones, para hacer que en los sistemas rijan leyes causales*. Así, en el sistema anterior, el físico ingenuo *conviene, postula*, que el cambio de una variable de estado produce, causa, el cambio en otra variable, transcurriendo el proceso no instantáneamente, sino en un tiempo, que de Kleer y Brown llaman *tiempo mítico*. Estos autores afirman que la ciencia opera así por *razones epistemológicas*, es decir, para mantener la *coherencia racional de los enunciados científicos*. Mientras que los sujetos operan así para mantener una *coherencia ontológica* entre sus *sistemas de creencias* (lo que ellos creen que es la realidad) y los fenómenos que observan en ella.

Los presupuestos básicos

La intuición básica en la que de Kleer y Brown fundamentan su trabajo es la siguiente:

La gente observa un sistema físico nuevo. Si conoce los componentes de ese sistema físico y cómo esos componentes están conectados entre sí, la gente puede explicar y predecir su comportamiento si se le pusiera en funcionamiento.

Esto implica la posesión de un modelo mental del sistema, por parte del sujeto, que tiene poder predictivo. El poder predictivo supone, a su vez, la posesión de unas determinadas reglas o principios causales, que forman parte del modelo mental, y que se ponen de manifiesto cuando se aplica o ejecuta el mismo para realizar predicciones o explicaciones del funcionamiento del sistema.

El trabajo de teorización, según de Kleer y Brown, consistiría en deducir, de las conductas observadas en los sujetos (explicaciones, observaciones del trabajo en los laboratorios, etc.), *qué conocimientos hace falta tener de los componentes de los sistemas físicos y qué tipo de concepción causal es necesaria* para que se pueda realizar una predicción correcta y una explicación del funcionamiento del sistema, a partir de su observación. En definitiva consistiría tanto en la *descripción* del modelo mental, como de los principios que dirigen su *construcción* y su *perfeccionamiento*. Lo primero hace relación a la *caracterización* del modelo; lo segundo a su *aprendizaje*.

Recordemos los elementos fundamentales que distinguíamos en todo modelo mental (Figura 2.1).

Cuando el "modelo ejecutable" se *ejecuta* (valga la redundancia), es decir, se pone en marcha en nuestra mente, en realidad lo que estamos haciendo es una *simulación cualitativa* del funcionamiento del sistema exterior que estamos analizando. En esta simulación cualitativa el *modelo ejecutable* no "copia" exactamente al sistema exterior. Se han operado una serie de transformaciones al representar los elementos constitutivos de éste, en función de los intereses del "usuario" (recordemos la definición de Minsky), es decir, de las explicaciones de su funcionamiento y de las predicciones sobre su evolución que el sujeto se proponga hacer utilizando su *modelo mental*.

a) Características de la simulación cualitativa

Intuitivamente, una simulación cualitativa mental puede parecer muy simple. En realidad es bastante compleja, ya que los sistemas pueden aparecer como no determinados, o

poco condicionados, debido a que las magnitudes que intervienen en su funcionamiento son contempladas de manera cualitativa. Por esta razón los sujetos deberán manejar conocimientos y razonamientos adicionales, para eliminar ambigüedades y conseguir que el sistema se comporte determinísticamente, y hacer así posible la predicción.

De Kleer y Brown enuncian una teoría de la simulación cualitativa sobre la que basar la elaboración del modelo mental mecánico, cuyas conceptualizaciones básicas son las siguientes:

Supuestos fundamentales

Los sistemas dinámicos, en general, son complejos y están constituidos por distintas partes, o distintos componentes, que interaccionan entre sí. Supongamos que conocemos los comportamientos de estos componentes y los modos en que están conectados en el sistema. En la simulación cualitativa:

1. Los comportamientos de los componentes del sistema se describen cualitativamente. Las "cantidades" de interés para la operación del mecanismo se describen con valores cualitativos, como "ir hacia arriba", "ir hacia abajo", "alto", "bajo", "pequeño", "grande", etc.
2. Los sucesos o episodios de interés en el funcionamiento del sistema se presentan en su orden causal.
3. No se expresan todos los razonamientos cualitativos posibles acerca del sistema. En particular, no se da cuenta de los aspectos del comportamiento de los componentes del sistema que son no-causales o de tipo "restrictivo" o "condicionantes".

Un análisis cualitativo completo del sistema en cuestión, tendría, al menos, dos partes: una que identificaría el *camino* que seguiría la *acción causal*; y otra que identificaría el *soporte* que permite que exista ese camino. Pero al ser el soporte un tipo de "restricción", de "condicionamiento", la simulación cualitativa de un modelo mental mecánico la excluye de su consideración.

Por ejemplo, una simulación cualitativa de una máquina térmica podría venir descrita como: "El calor que se comunica a la caldera hace que se produzca vapor, el cuál es transportado, a través de las tuberías, a la turbina, causando el giro de la misma...". En esta simulación se describe la *acción causal*, pero no se explicita que *el agua se conserva* en el sistema. La conservación del agua es una "condición" para la acción causal, forma parte de la

estructura *soporte* de la misma, y por eso no se considera en la simulación cualitativa correspondiente.

Nociones Fundamentales

En la simulación cualitativa es necesario distinguir algunas nociones fundamentales, íntimamente relacionadas entre sí, que constituyen el *vocabulario básico* para la comprensión tanto del modelo mental mecánico como de su ejecución. Son las siguientes:

- *Topología del sistema* : Es una *representación* de la estructura del sistema, es decir, de su organización física.
- *Pre-visión* : Es un *proceso de inferencia*, mediante el cual, dada la estructura del sistema, se determina su función.
- *Modelo causal* : Es una *representación* que describe cómo funciona el sistema. Esta descripción se expresa en términos de cómo los componentes del sistema interaccionan entre sí de manera causal.
- *Ejecución* : Es el proceso de *puesta en marcha* del modelo causal, para producir un *comportamiento específico* del sistema, mediante una cadena de sucesos, cada uno de ellos causalmente relacionado con el anterior.
- *Episodios* : El tiempo en el sistema se cuantifica en periodos durante los cuales el comportamiento del sistema es significativamente distinto. Cada uno de estos comportamientos constituye un *Episodio*.

La Figura 2.2 expresa gráficamente la relación que existe entre estos elementos.

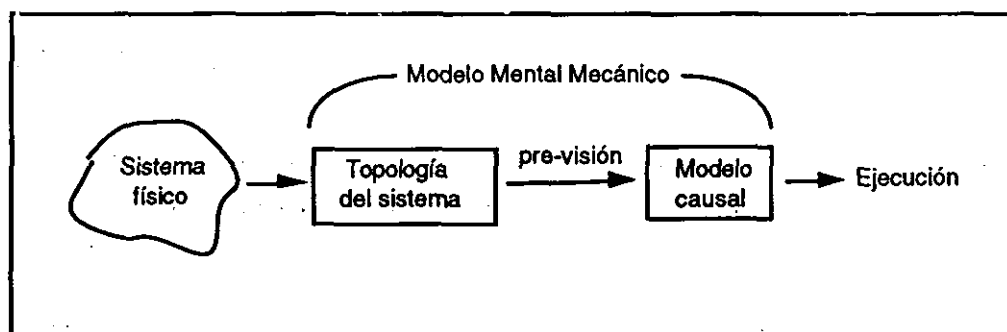


FIGURA 2.2. Elementos que se relacionan en un modelo mental mecánico y en su ejecución.

El proceso *pre-visión* es un proceso de resolución de problemas. El problema consiste en relacionar la estructura del sistema físico con su función. A nivel mental, *pre-visión* opera sobre un *esquema* que representa la estructura (*topología del sistema*) y produce

otro *esquema* que representa su funcionamiento (*modelo causal*). El primero constituye el *dato de entrada (input)* con el que trabaja pre-visión, y el segundo es el *resultado* o producto (*output*) de ese trabajo.

El *modelo causal*, producto del proceso pre-visión, se puede *ejecutar*. Es a esta "ejecución" a lo que normalmente se llama "simular el sistema mentalmente". Según de Kleer y Brown se trata de una simulación del sistema, que en sí misma no tiene que demostrar la sucesión causal o temporal de los distintos episodios de su funcionamiento, puesto que esto ya lo ha realizado el proceso pre-visión. Por esta razón tenemos la intuición psicológica de que la "simulación del sistema a los ojos de la mente" es tan sencilla.

Particularmente interesante para nuestro propósito es el proceso pre-visión, ya que es el responsable de la construcción del *modelo causal* que utiliza el modelo mental mecánico para explicar y predecir el comportamiento del sistema físico, a partir únicamente de la evidencia que proporciona el conocimiento de su estructura. Resumimos a continuación la descripción que hacen de este proceso de Kleer y Brown.

b) El proceso pre-visión

De Kleer y Brown han desarrollado un lenguaje de *primitivas* para expresar y definir la estructura de un sistema físico:

- Un sistema físico está formado por una serie de partes, llamadas *constituyentes*. Se pueden distinguir tres clases de constituyentes: *materiales*, *componentes* y *conductos*.
- El comportamiento de un sistema se adquiere operando sobre los *materiales*, como agua, aire, electrones, etc.
- Los *componentes* son constituyentes que cambian la forma y las características del material.
- Los *conductos* son constituyentes que simplemente transportan materiales de un componente a otro, sin que puedan cambiar ningún aspecto de los mismos.

El comportamiento del sistema se describe en términos de los atributos del material.

Los *componentes* procesan y transforman materiales. El comportamiento de un componente puede modelarse por un conjunto de reglas o leyes, o por un conjunto de componentes de más bajo nivel. Los componentes de un sistema son necesariamente disjuntos y tienen que compartir información para poder operar.

Los *conductos* son los que se encargan de transmitir esta información de un componente a otro. Cuando un conducto conecta dos componentes, ambos tienen acceso directo a los valores de los atributos del material que circula por el conducto.

Modelos de componente

Principio de no-función-en la estructura

El principio de no-función-en la estructura prescribe que el funcionamiento de los constituyentes de un sistema se describa con independencia del funcionamiento del sistema como conjunto. Esto quiere decir que *la caracterización de las reglas y leyes que rigen sus comportamientos son independientes del contexto en que los componentes se incluyen.*

Por ejemplo, en el caso de una máquina térmica, un elemento, como una tubería, podría caracterizarse en un caso particular por transportar agua de derecha a izquierda. Si lo hiciéramos así, y en otra máquina encontráramos una tubería, le asignaríamos el mismo funcionamiento. Esto excluiría la posibilidad de que la tubería, en otro contexto, transportara el agua de izquierda a derecha, lo cual induciría a error. Un modelo de comportamiento de la tubería fuera de contexto podría expresarse así: "el material fluye del extremo de alta presión al extremo de baja presión; si las presiones son las mismas, no habrá flujo de material". Este modelo de comportamiento es válido para todo tipo de tubería que encontremos en las distintas máquinas.

Principio de localidad

Si los componentes de un sistema se modelizan fuera del contexto global en el que están encuadrados, esto quiere decir que no "conocen" cómo es el comportamiento del sistema como conjunto: sólo pueden intercambiar "información" con los componentes adyacentes. Consecuencia de esto es el *principio de localidad* que se enuncia así:

- Un componente sólo puede actuar sobre (o recibir acciones de) sus componentes adyacentes.

Los modelos de componentes elaborados respetando los principios de *no-función-en la estructura* y de *localidad*, constituyen las primitivas que forman la topología de un sistema.

El modelo de componente caracteriza todos los comportamientos posibles de un componente.

Una técnica para pre-visión

El problema que tiene que resolver pre-vision es el de ejemplificar un comportamiento específico de cada modelo de componente para el sistema físico concreto del que se trate, de entre todos los posibles, de tal manera que la función del sistema concreto quede unívocamente determinada.

De entre las posibles técnicas que permitirían a pre-visión resolver el problema, de Kleer y Brown eligen la de propagación. En la *técnica por propagación* se comienza con un único suceso producido no causalmente (por ejemplo un estado de desequilibrio). A continuación se examinan los componentes próximos, para ver qué efectos se han producido, y se repite el proceso indefinidamente. Esta técnica tiene la ventaja de construir automáticamente las *relaciones causales* entre los distintos episodios, y, al mismo tiempo, identificar los mecanismos que las han producido. Por lo tanto es la técnica de propagación la que va a utilizar pre-visión para la construcción del modelo causal que explique el funcionamiento del sistema.

Convenciones Amplias

Tanto en la identificación de los constituyentes del sistema como en su modelización, el proceso pre-visión utiliza convenciones.

A las convenciones que son aplicables a muchos sistemas físicos en general, las llamaremos *convenciones amplias*.

La *convención amplia* más utilizada por pre-visión es que *los comportamientos de duración suficiente breves o suficientemente poco intensos, puede ser ignorados*.

Como "suficientemente breve" o "poco intensos" son expresiones relativas, esta convención puede realizarse a muchos niveles. De hecho, las convenciones amplias permiten a pre-visión "fijar" la resolución del "microscopio" que va a utilizar en la modelización de los sistemas. Según este poder de "resolución", el análisis se focalizará en uno u otro nivel, influyendo en la determinación de qué elementos del sistema pueden o no modelizarse como componentes, conductos, etc.

Pre-visión también puede utilizar convenciones de tipo idiosincrático, aplicables solamente a sistemas específicos. Estas convenciones jugarán un papel importante en la construcción del modelo mental, como veremos más adelante.

c) El modelo causal

De cada aplicación de un modelo de componente, pre-visión deriva valores de atributos desconocidos, a partir de otros conocidos. Esta relación entre antecedentes y consecuentes establece una relación primitiva causal entre causas (antecedentes) y efectos (consecuentes). Desde este punto de vista, puede decirse que pre-visión es simplemente una especie de proceso "componedor", que coloca las conexiones primitivas causales de tal modo que asigna los efectos de una primitiva a las causas de otra. El resultado es una representación explícita de la causalidad inherente al funcionamiento del sistema, a la que de Kleer Brown llaman *modelo causal*.

Es el *modelo causal* el que el sujeto utiliza para explicar el sistema físico, y para predecir cómo evolucionará. *El sistema de inferencia es causal*, no lógico. Las deducciones y predicciones del comportamiento del sistema no son legales, sino causales.

Condicionamientos en la formulación del modelo causal

Para que un modelo causal sea útil debe satisfacer determinadas condiciones, además de las que le imponen la modelización de los componentes del sistema en el nivel de resolución adoptado: el modelo causal debe ser *consistente*, *correspondiente* y *robusto*.

- Un modelo causal es *consistente* cuando carece de contradicciones internas⁶.
- Un modelo causal es *correspondiente* cuando es fiel al comportamiento del sistema real. Es decir, cuando al ejecutarse mentalmente, el comportamiento resultante coincide con el comportamiento del sistema físico real, si se le pone en funcionamiento.
- Un modelo causal es *robusto* cuando puede ser utilizado en situaciones novedosas, o no previstas, al construir el modelo⁷.

La *consistencia/coherencia* del modelo es de importancia crucial, porque si no se cumple esta condición no podría utilizarse para predecir el comportamiento del sistema. Si los modelos de componente son consistentes, pre-visión puede atribuir cualquier contradicción que descubra en el sistema a alguna convención hecha al propagarse el comportamiento de unos componentes a otros. *La habilidad para aplicar convenciones y luego retirarlas es una de las fundamentales con las que cuenta pre-visión para construir modelos consistentes.*

⁶ Esta definición de *consistencia* coincide con la utilizada comúnmente para *coherencia*. De aquí que en relación al modelo de de Kleer y Brown nosotros utilizemos uno u otro término indistintamente.

⁷ Esta definición de *robustez* coincide con la utilizada comúnmente para *consistencia*.

Las condiciones de *consistencia*, *correspondencia* y *robustez*, son los criterios con que cuenta *previsión* para criticar o evaluar los modelos causales que produce⁸. Si al ejecutar el modelo se observa un fallo en estas condiciones, se pone en marcha un proceso de revisión de las *convenciones* que se han hecho para modelizar los componentes del sistema y producir *otro modelo causal más robusto*, es decir, con una capacidad predictiva más amplia.

Heurística Canónica

En lo dicho hasta ahora se ha procedido como si se poseyera un *único modelo mental* del sistema. La realidad es que, en la práctica, los sujetos continuamente *mejoran* su comprensión del sistema, cambiando los modelos de componente, alterando su topología, o inventando nuevas reglas para el comportamiento de los materiales en los conductos, siempre utilizando los condicionantes de consistencia, correspondencia y robustez como elementos para criticar la *bondad* de los distintos modelos.

Esto es así porque el proceso *pre-visión* *no puede* determinar un *único modelo causal* como producto de la inferencia que va desde la estructura del sistema a su función, por una razón sencilla: al utilizar como primitivas estructurales los modelos de componentes (que potencialmente pueden desarrollar diversos comportamientos), y proceder en la construcción del modelo causal por propagación, *pre-visión* no tiene la seguridad de que *a una causa* le siga un efecto *determinado*, ya que existen varios efectos potencialmente posibles. De manera que *el resultado de pre-visión puede ser una colección de diferentes modelos causales, cada uno de ellos con sus propias convenciones particulares subyacentes*.

Las ambigüedades que aparecen en la determinación del modelo causal explicativo del funcionamiento del sistema físico concreto, traen como consecuencia que el proceso *pre-visión* pueda estancarse. Esto sucede, por ejemplo, cuando en una parte de *transición* del sistema, el proceso *pre-visión* no puede evaluar una condición o asignar valores a los atributos del material desconocidos.

Para poder continuar y sobrepasar estos puntos muertos, *pre-visión* tiene que introducir *convenciones específicas* acerca de la verdad o falsedad de determinadas condiciones, o asignar valores a los atributos del material desconocidos.

En general la estrategia que adopta *pre-visión* en estos casos es *convenir temporalmente, mientras no se demuestre lo contrario, que los atributos desconocidos tienen valores despreciables*.

⁸ Las condiciones de *consistencia* y *robustez* implican coherencia del pensamiento *consigo mismo*. La condición de *correspondencia* implica coherencia del pensamiento *con la realidad* (estado del mundo).

Por ejemplo: si se "tira" o se "empuja" en una parte de un componente y no se detecta qué efecto tiene esta acción en el componente, se considera que el componente responde como si la acción no existiera.

Esta *regla heurística* es aplicable en todos los sistemas particulares, por lo que se llama *heurística canónica*. Su determinación es empírica, pero, de hecho "funciona" psicológicamente. Según de Kleer y Brown, todos los expertos a los que les han preguntado cómo resuelven este tipo de "impasse", afirman utilizarla.

El mecanismo intrínseco. Proyección

A pesar de todo lo dicho, aunque el proceso pre-visión pueda resolver sus estancamientos como anteriormente hemos señalado, y consiga finalmente construir un modelo causal explicativo del funcionamiento del sistema, como en este proceso se han tenido que asignar valores fundamentándose en reglas heurísticas o en convenciones idiosincráticas, el modelo causal resultante sigue siendo *uno* entre varios posibles. Y éste puede, o no, ser el *correspondiente* con el funcionamiento del sistema físico que se está examinando. Por esta razón, en realidad lo que pre-visión construye es una *colección de modelos causales*, todos ellos potencialmente explicativos del funcionamiento del sistema. De entre todos ellos, sólo uno es el correspondiente. Con sólo los datos que extrae del análisis cualitativo de la estructura, pre-visión no puede distinguir cuál es este modelo causal. Para ello necesita de algún tipo de información exterior al sistema, que le sirva para discernir qué tipo de heurísticas o de convenciones son las adecuadas para la construcción de ese modelo causal correspondiente. De Kleer y Brown introducen algunas nociones necesarias para tratar este problema:

- *Mecanismo intrínseco* : El mecanismo intrínseco de un sistema es una descripción de todos los modelos causales potenciales del sistema.

El mecanismo intrínseco representa *esencialmente* la función del sistema.

- *Evidencia externa* : La evidencia externa o información exterior que requiere pre-visión para determinar el modelo causal correspondiente, es de naturaleza funcional (*un comportamiento concreto del sistema*). Mediante esta evidencia externa, se realiza la selección del modelo causal bajo el cual el sistema real concreto está operando.
- *Proyección* : Al *proceso* de seleccionar, mediante la evidencia externa, el modelo causal correspondiente se le llama *proyección*.

Gráficamente, los nuevos elementos que intervienen en la construcción del modelo causal mecánico, se explicitan en la Figura 2.3.

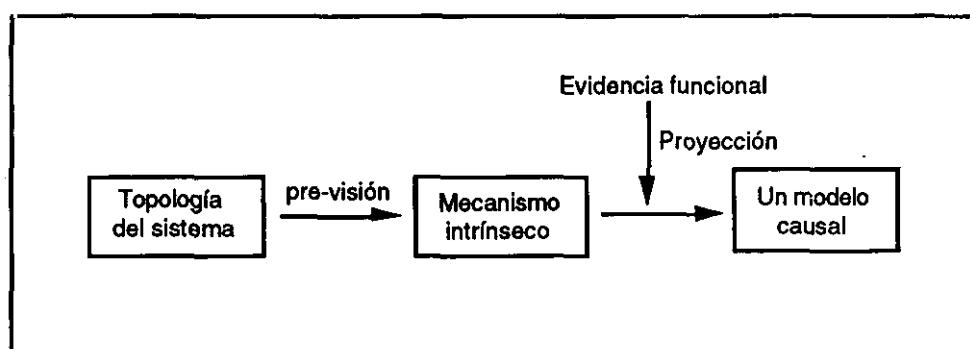


FIGURA 2.3. Representación gráfica del papel del Mecanismo intrínseco y del proceso Proyección en la determinación del modelo causal.

Por ejemplo, en el caso de un timbre, pre-visión puede construir dos posibles modelos causales: uno, en el que el timbre permanezca silencioso (con la convención de que el campo magnético que se introduce en la bobina no sea suficientemente fuerte como para vencer la fuerza de recuperación del muelle y mover la varilla hacia arriba); y otro, en el que haga ruido (con la convención de que el campo magnético es suficientemente fuerte). La evidencia externa es que el timbre hace ruido. Luego *proyección* selecciona este modelo causal para el timbre en cuestión (Ver figura 2.4).

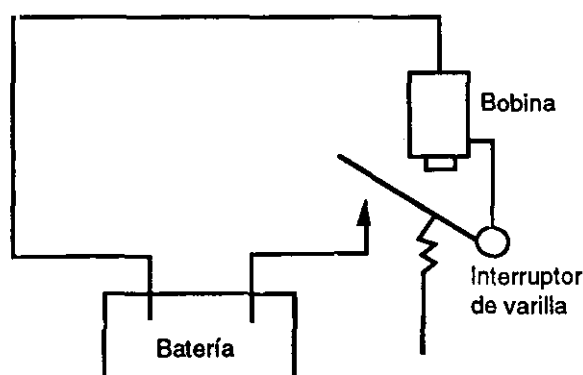


FIGURA 2.4.

Implicaciones Psicológicas

Aunque de Kleer y Brown advierten que su teoría acerca de la simulación cualitativa del modelo mental mecánico no está basada en datos psicológicos, la realidad es que reconocen, y así lo explicitan en su trabajo, que puede tener interés en la investigación del comportamiento cognitivo humano. Ello es así porque lo que intentan es precisamente investigar el modelo de razonamiento de sentido común implicado en la comprensión de los

sistemas dinámicos. Como diría Clancey (1986), esta tarea, aunque se aborde desde el campo de la IA, es "abiertamente y sin complejos, psicológica", porque lo que se modeliza es un sistema cognitivo humano (el modelo mental del sujeto). Aunque los métodos que utilizan no son los de la psicología, el nivel de análisis realizado y el vocabulario creado por de Kleer y Brown pueden permitir la elicitación y conceptualización de procesos mentales que ordinariamente permanecen implícitos en el discurso del que explica cómo comprende, o cómo funciona, un sistema físico. Ellos mismos prevén varios aspectos en los que su teoría puede ser útil a la psicología. Nosotros nos fijaremos solamente en los que señalan en torno al "aprendizaje" o construcción de los modelos mentales mecánicos.

Tipos de aprendizaje.

En la construcción del modelo mental mecánico, De Kleer y Brown señalan que se pueden distinguir *tres tipos* de aprendizaje: el primero de ellos es el que se realiza cuando se establece una conexión entre la estructura del sistema y su función; el segundo, el que se realiza cuando la conexión estructura-función se quiere hacer más robusta; y el tercero, el que se lleva a cabo cuando el resultado del proceso de proyección se registra o incorpora al mecanismo intrínseco. Cualquier sujeto que esté intentando obtener una comprensión profunda de un sistema particular, probablemente ejercitará estos tres modos de aprendizaje.

1º) Lo primero que tendrá que hacer un sujeto en su proceso de aprendizaje es inferir, a partir de los datos que le suministre la observación del sistema, un conjunto de modelos de componentes, y utilizar estas primitivas para construir, mediante el proceso pre-visión, una *conexión entre la estructura del sistema y su función*. De esta manera habrá construido lo que hemos llamado un modelo mental mecánico del sistema. Este primer modelo así construido, inevitablemente lleva incluidas muchas convenciones implícitas, que pueden o no ser correctas.

2º) Las restricciones o condicionamientos de consistencia, correspondencia y robustez, se utilizan para "criticar" o evaluar el modelo mental producido. Si se encuentran violaciones de los mismos, *el aprendizaje progresa haciendo explícitas las convenciones que se hicieron en la construcción del modelo*. Esto sucede siempre que el modelo mental no explica satisfactoriamente el funcionamiento del sistema en alguna circunstancia particular (falta de robustez), por ejemplo; cuando se encuentran contradicciones al introducir cambios hipotéticos en algún modelo de componente (falta de consistencia/coherencia), etc. Cada vez que aparece una violación de estas restricciones, el sujeto tiene la oportunidad de *aprender*, identificando una convención implícita en algunos de los modelos de componente, y tratando de articularla adecuadamente en el modelo mental del sistema. El motor de este segundo tipo

de aprendizaje es, pues, conseguir que el modelo mental construido mediante el primer tipo de aprendizaje sea robusto, haciendo que las convenciones *implícitas* se hagan *explícitas*.

A pesar de todo, cuando el modelo del sistema evoluciona, la explicitación de las convenciones produce nuevas ambigüedades en el proceso de pre-visión. Y en algún momento habrá necesidad de utilizar el proceso *proyección* para eliminarlas.

3º) A medida que los modelos de componente del sistema se liberan de las convenciones implícitas, el trabajo realizado por el *proceso de proyección* aumenta. El tercer tipo de aprendizaje consiste en *sacar partido de este proceso*, preservando sus resultados, de manera que en situaciones parecidas sean tenidos en cuenta en la construcción del modelo mental. Esto supone la codificación de los aspectos de los modelos de componente que fueron realmente utilizados en el modelo causal correcto del sistema particular. Usando únicamente estas primitivas idiosincráticas, el proceso de *ejecución* del modelo mental mecánico se hace más rápido y eficiente

La diferencia entre este modelo y el construido al principio estriba en que éste último tiene explicitadas y articuladas de manera particularizada sus convenciones implícitas, mientras que el primero no las tenía y, por consiguiente, no era un modelo mental robusto.

Las evidencias proporcionadas por el proceso de proyección y las explicitaciones de las convenciones implícitas que fueron eficientes para discernir qué subconjunto de los posibles modelos de componentes fueron realmente utilizados en el modelo causal correcto, actuarán en el futuro como "preventivos" idiosincráticos en la futura construcción de modelos mentales causales. El sujeto tenderá a utilizarlos cuando construya los modelos de componentes, fijándose primero en el subconjunto del modelo que una vez le resultó eficaz. Sólo cuando éstos elementos "preventivos" fallen, invocará el modelo causal primitivo, con sus primitivos modelos de componentes.

Consecuencias

Diferencias expertos-novatos

Con la perspectiva del aprendizaje presentada por de Kleer y Brown, las diferencias entre *expertos* y *novatos* tienen una interpretación muy particular: *La fenomenología de la explicación de ambos será aparentemente la misma, para todo tipo de sistemas*. El novato inconscientemente hará convenciones implícitas en los modelos de componentes del sistema cuyo funcionamiento intenta explicar. El experto también hará convenciones implícitas, del mismo modo que lo hace el novato. Pero mientras el primero no podrá articularlas, para conseguir modelos robustos, el experto las explicitará cuando lo necesite, obteniendo de esta

manera modelos más robustos. La habilidad para recobrar estas convenciones implícitas le viene al experto de haber razonado explícitamente sobre el sistema y resuelto sus ambigüedades vía proyección. De esta manera el experto ha desarrollado un vocabulario técnico para describir las funciones generales de los sistemas que, a su vez, hacen que el proceso de proyección sea más rápido y más eficaz en los casos concretos.

El papel de los modelos no robustos en la enseñanza.

Según lo dicho hasta aquí, para de Kleer y Brown lo más importante para comprender cómo funciona un sistema (o lo que es lo mismo, poder explicar su funcionamiento), es disponer de un modelo causal que permita una simulación cualitativa del mismo sin ambigüedades. Desde esta perspectiva, en la explicación didáctica del funcionamiento de un sistema, podrían utilizarse modelos no robustos, o incluso que violaran el principio de no-función en la estructura, con tal de que el mecanismo causal fuera el correcto. Utilizando unos modelos de componentes muy simplificados, por ejemplo, con un nivel de resolución que mantuviera convenciones implícitas en los puntos más difíciles de entender, el modelo causal sería fácilmente comprensible para los alumnos. Más adelante se afinaría progresivamente el nivel de resolución, y se acabaría por explicitar y articular las convenciones implícitas de los distintos modelos de componente. Obtendríamos así una *secuencia de explicaciones*, cada una de las cuales iría construyendo un modelo mental causal, o explicativo, más robusto.

Advierten de Kleer y Brown (1983 p. 185), que todos los afinamientos, en la construcción del modelo más robusto, *no requerirán una radical reformulación del primitivo modelo causal*, sino sólo adiciones y explicitaciones. Por esta razón, el primer modelo causal correcto puede servir de "eje vertebral" para guiar una secuencia de explicaciones cada vez más completas, sin tener que volver a cero o deshacer ningún paso de su construcción.

Impedimentos para un aprendizaje correcto

Fundamentalmente, bajo la perspectiva de de Kleer y Brown, lo que impide el aprendizaje o la construcción correcta del modelo mental mecánico, es que el proceso de proyección opere no en el mecanismo intrínseco, sino en la construcción de la topología del sistema o en el mismo proceso de pre-visión. Por ejemplo, en el caso del timbre considerado antes, si se sabe que éste hace ruido, y se utiliza esta evidencia externa en la construcción del modelo de componente del interruptor, éste llevaría implícita la convención de que siempre la fuerza magnética es suficientemente fuerte como para hacer elevar la varilla, con independencia de cómo se modelizan los otros componentes del sistema. Esto produce un modelo causal no robusto del timbre, porque en este caso, si la batería estuviera gastada, el

sujeto no podría explicar por qué el timbre no funciona, ya que implícitamente ha supuesto que siempre la fuerza magnética es suficientemente fuerte como para que se produzca el sonido.

La Figura 2.5 representa gráficamente la proyección realizada implícitamente al construir la topología del sistema y en el proceso de pre-visión. Para que la proyección fuera adecuada para el aprendizaje, debería ser explícita y aplicada al mecanismo intrínseco, como vimos anteriormente.

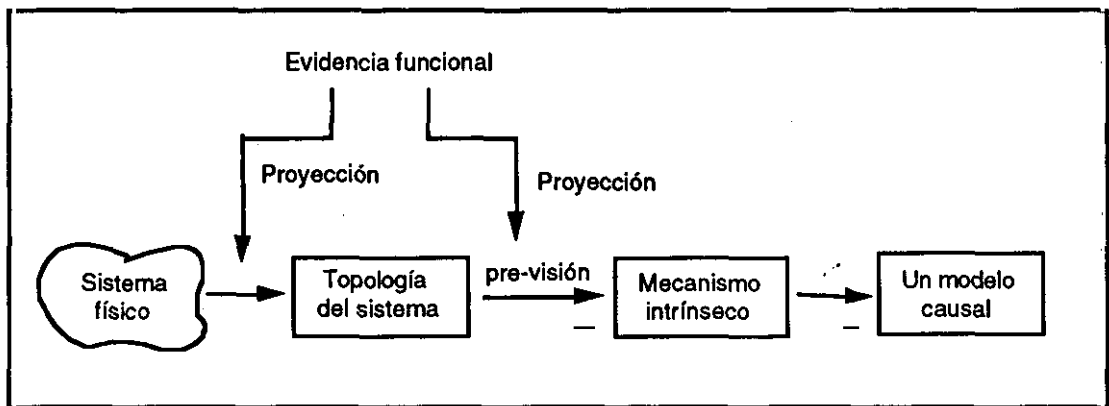


FIGURA 2.5. Representación gráfica de la aplicación incorrecta del proceso Proyección.

El aprendizaje es un proceso abierto

Por último, de Klee y Brown advierten que el proceso de aprendizaje así descrito permanece siempre abierto: el sujeto nunca puede estar seguro de que ya ha identificado todas y cada una de las convenciones implícitas que subyacen en la elaboración de su modelo. Y por lo tanto, éste siempre puede mejorar.

Identificación de los modelos mentales

Conocer la conceptualización que los sujetos tienen de los componentes de un sistema, cómo los ha construido, qué "física" utilizan para su articulación, etc., nos daría la clave para conocer la comprensión que poseen del sistema físico que tienen delante. Esto no es tarea fácil. Requiere hacer una reconstrucción hacia atrás, partiendo de una "ejecución del sistema a los ojos de la mente", hasta los modelos de componente.

Pero, como se dijo anteriormente, la ejecución del modelo mental aparece como muy simple, pues el modelo causal sobre el que se basa ya ha resuelto previamente los problemas que se presentaban para su funcionamiento correcto. Esto significa también que en la

explicación el sujeto sólo menciona un pequeño fragmento del modelo de componente primitivo o completo, que el proceso pre-visión utilizó originalmente para construir el modelo causal.

Estrategias

De Kleer y Brown proponen dos estrategias para investigar los modelos que subyacen a la explicación que ofrece el sujeto de la ejecución del modelo mental mecánico:

A.- El experimentador abstrae, de las explicaciones del sujeto, los modelos de componente que está utilizado en el proceso de ejecución, y cuestiona al sujeto acerca de las ambigüedades que se presentan cuando éstos modelos se utilizan en la construcción del modelo causal (proceso pre-visión).

B.- La otra estrategia es pedir al sujeto que analice distintos sistemas compuestos por los mismos constituyentes.

El objetivo de estas estrategias es forzar al sujeto a articular las convenciones implícitas y a expresar las ambigüedades que tuvo que resolver en el proceso de pre-visión para construir el modelo causal.

Un caso interesante se presenta, advierten de Kleer y Brown, cuando el sujeto parece utilizar múltiples modelos de componentes en la construcción del modelo causal (proceso pre-visión). Como se señaló antes, los modelos de componente van evolucionando a medida que el sujeto comprende mejor el sistema físico que está analizando. El intento de reconstruir el proceso de pre-visión, puede ofrecerle oportunidades de revisar los modelos de componente, y, por lo tanto, de aprendizaje. De manera que *en el protocolo de un sujeto pueden reflejarse los dos modelos, el utilizado antes del aprendizaje y el que es resultado de ese aprendizaje*. La última explicación de la ejecución del modelo mental mecánico puede que no mencione el primero; pero seguramente, parte del protocolo reflejará el razonamiento que hacía el sujeto, apoyándose en él, antes del aprendizaje. El aprendizaje que separa los dos modelos pudo provocarse como resultado de la violación de las restricciones de consistencia o correspondencia (es decir, de la no adecuación con algún aspecto del funcionamiento global del sistema). En este caso, el proceso pre-visión revisa la topología del sistema, hace explícita alguna convención implícita en el modelo de componente y trata de articularla en el modelo causal. Incluso puede cambiar el nivel de análisis, y recurrir a los sub-constituyentes de los modelos de componentes (modelos incluidos), para eliminar ambigüedades en el modelo causal; o cambiar la tipología del sistema, modelando como un componente lo que anteriormente era un simple conducto. En todos los casos, el modelo causal construido con

los nuevos modelos de componente, no contradir  al modelo causal original, sino que únicamente lo completar  y lo har  más robusto. Las que pueden aparecer como contradictorias son las convenciones implícitas realizadas en la remodelación de los componentes.

2.5. APORTACIONES ESPECIFICAS

Como resumen de lo visto en este Capítulo, podríamos decir que el estudio de la causalidad es un tema de interés para la investigación en IA, particularmente central en el intento de modelización de una física de sentido común. Pero los trabajos realizados se han hecho no buscando una significatividad psicológica en los resultados, sino que el comportamiento de la máquina imite el del humano que utiliza su conocimiento de sentido común para resolver los problemas que se le presentan cuando interacciona en situaciones ordinarias con el mundo físico. Como algunos investigadores advierten, el hecho de que un trabajo no tenga una finalidad psicológica inmediata no excluye que tenga interés en psicología, y que pueda utilizarse también para explicar el comportamiento humano.

En cuanto a las características del pensamiento causal espontáneo, las posturas que hemos encontrado podrían reconocerse como emparentadas con las tradiciones filosóficas humanas (ej. Hayes) y causalistas (ej. de Kleer y Brown). En este sentido los datos de la investigación no aportan nada nuevo. Pero como los autores tratan de diseñar programas que la computadora debe ejecutar, *los constructos* que utilizan y *el lenguaje* que elaboran para referirse a ellos tienen que estar nítidamente expresados. Esto es así porque para que un programa "funcione" el vocabulario utilizado en su confección no puede contener elementos implícitos, de manera que todos los elementos teóricos que se utilizan deben estar clara y explícitamente definidos. De este modo, *algunos autores han creado un vocabulario de primitivas para referirse a la causalidad espontánea que sí puede enriquecer la perspectiva del estudio de la concepción causal que utilizan los alumnos en su vida ordinaria.*

En nuestro trabajo, como se verá más adelante, no hemos perdido de vista esta posibilidad.

3. LA CAUSALIDAD EN LA INVESTIGACION EN DIDACTICA DE LAS CIENCIAS

No hay en relación al tema de la causalidad una literatura abundante en Didáctica de las Ciencias¹. Podría decirse que hay pocos estudios básicos, pero que algunos trabajos se han difundido ampliamente bien por sus aportaciones, o por su oportunidad. Aun a riesgo de simplificar, podría hacerse entre ellos los siguientes grupos:

- A) Los que centran su estudio explícitamente en las llamadas "teorías causales".
- B) Los que estudian los "errores conceptuales" de los alumnos y hacen una interpretación de los mismos en términos causales.
- C) Los centrados en caracterizar el "pensamiento espontáneo" o "natural" de los sujetos, y detectan componentes causales en los mismos.
- D) Los que investigan "primitivas" causales en la explicación del movimiento.

A continuación examinaremos cada uno de estos grupos.

3.1. LAS TEORIAS CAUSALES Y EL ESTUDIO DEL PENSAMIENTO CAUSAL

Pensamos que los únicos autores que podemos considerar en éste grupo son J. I. Pozo y R. Driver. Ambos coinciden al definir qué es una teoría causal:

Una teoría causal es una estructura cognitiva constituida por una serie de ideas (Pozo 1987a p. 62) o nociones (Driver 1982 p. 70) causalmente relacionadas.

Al estar ligadas a contenidos (Pozo 1985 p. 64, Driver 1978 p. 59) las teorías causales así definidas hacen relación al aspecto *semántico* del pensamiento causal. La característica del *factor semántico* es la de hacer referencia a los contenidos específicos de las proposiciones, mientras que el *factor sintáctico* del pensamiento causal se referirá a la *forma* de las mismas, con independencia de los contenidos. Según estos autores sería este factor semántico, en oposición al factor sintáctico o lógico del pensamiento, el que

¹ Por las razones metodológicas expuestas en el Capítulo 1, no estudiamos aquí las investigaciones realizadas dentro de la tradición piagetiana (Cfr., por ejemplo, Wolfinger 1982, Selman y otros 1982, Wollman 1981, Lawson 1982, 1983a, 1983b, 1985, Krupa y otros 1985, Bovet y otros 1986, 1987a, 1987b, Pacca y Saraiva 1989, Acevedo 1989, 1990).

determinaría principalmente -no exclusivamente- el tipo de explicaciones que los sujetos ofrecen cuando interpretan los fenómenos del mundo que les rodea.

Las teorías causales que poseen los sujetos pueden ser muy *elaboradas y explícitas*, como es el caso de las teorías científicas, o, en el otro extremo, ser *informales, vagas, implícitas, y poco articuladas*, en comparación con las anteriores (Driver 1982 p. 74, Pozo 1985 p. 86). Tanto Driver como Pozo se refieren a las *teorías causales* con distintos sinónimos: *pensamiento causal* - como opuesto a "pensamiento lógico" - (Driver 1978, 1981, 1983), *marco alternativo* (Driver y Easley 1978, Driver 1981, 1982), *esquemas causales* (Pozo 1985, 1987a, 1987b, 1989, Pozo y Carretero 1987), *esquemas previos*, *representaciones causales* (Pozo 1987a, 1988a), *teorías alternativas* (Pozo 1985), *sistema de ideas previas* (Pozo 1988b). Aunque estos nombres se utilizan actualmente en toda la producción didáctica, creemos que sólo Pozo en sus trabajos desde 1985 a 1990 y Driver en los suyos desde 1978 a 1983, los utilizan con el sentido de *teoría causal* tal como se han definido anteriormente. Los otros autores, aunque utilicen estos términos, no hacen alusión al pensamiento causal.

3.1.1. LAS "TEORIAS CAUSALES" DE J. I. POZO

El trabajo fundamental del J. I. Pozo en relación al tema que nos ocupa es su tesis doctoral, realizada sobre el tema *Teorías y reglas de inferencia en la solución de problemas causales* (Pozo 1985)². En ella el autor considera dos partes fundamentales: en la primera propone un *modelo para el pensamiento causal*, presentando sus diversos componentes; en la segunda estudia experimentalmente la *interacción* entre dos de los componentes propuestos en el modelo, las *teorías causales* y las *reglas de inferencia*, ejemplificando con una regla de inferencia, la covariación múltiple, y una teoría causal, la mecánica newtoniana.

Parte Primera: El Modelo Causal

Pozo propone un modelo causal que quiere integrar las principales aportaciones hechas, tanto en psicología como en filosofía de la ciencia. Y dentro del mismo sitúa el estudio de las *teorías causales*. Su propuesta quiere ser una superación de las diversas posturas encontradas en relación a la causalidad y alcanzar un cierto compromiso entre la especificidad y la generalidad del pensamiento causal. Por esta razón explicita

"... un modelo interactivo cuyo objetivo fundamental sería establecer la naturaleza de las interacciones entre los aspectos representacionales de la causalidad (teorías causales) y los aspectos procesuales (reglas de inferencia). Se parte de la idea de que ambos aspectos tienen una cierta estructura formal común

² Las citas de aquí en adelante se referirán a ésta tesis doctoral, mientras no se advierta lo contrario.

que es necesario considerar. No obstante se diferencian en otras muchas variables. Especialmente las reglas de inferencia tendrían una naturaleza esencialmente formal y un alto rango de generalidad, mientras que las representaciones son esencial, pero no exclusivamente, factuales y de un nivel menor de generalidad (...)

Para dar cuenta de sus interacciones formales y factuales se propone la existencia de un tercer componente en el pensamiento causal, jerárquicamente superior, que consistiría en un conjunto de principios generales que regirían el pensamiento causal, tanto en sus aspectos de representación como de razonamiento" (p. 80-81. Énfasis nuestro)

Relación entre los componentes del modelo

El modelo propone un nivel jerárquico distinto para los componentes citados, así como una interacción mútua entre representaciones y razonamiento. Gráficamente, las relaciones entre los componentes del modelo podrían representarse como indica la Figura 3.1:

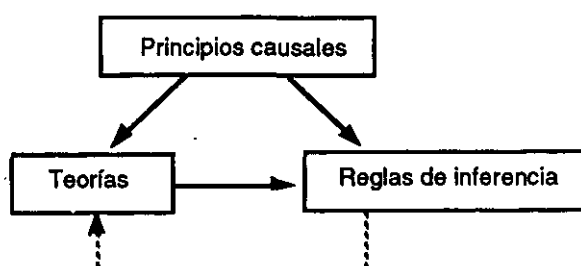


FIGURA 3.1. Relaciones entre los tres elementos constitutivos del pensamiento causal (según Pozo 1985 p. 94).

Es decir, el tercer componente (principios causales), impondría los límites para cualquier razonamiento (reglas de inferencia) o representación causal (teorías causales), situándose jerárquicamente en un nivel superior y no siendo modificado por los otros dos. De manera que los principios restringen la estructura tanto de las teorías causales como de las reglas de inferencia.

Los principios causales

Los principios causales constituyen *restricciones formales de carácter universal en el pensamiento causal humano*. En este sentido, toda relación causal tiene necesariamente que adoptar la *forma* que le viene impuesta por los principios causales. Según Pozo (p. 83)

podrían considerarse de naturaleza innata, constituyendo un conjunto de "sesgos biológicos" (de Vega 1984) o "restricciones del pensamiento" en el sentido keiliano del término (Keil 1981, 1986) por los que los humanos, como miembros de nuestra raza, tenemos una predisposición a focalizar el procesamiento causal en ciertos indicios y o en otros. En el modelo se enuncian los principios causales de *constancia*, *condicionalidad*, *asimetría* y *transmisión generativa*, siguiendo las formulaciones de Bunge (Cfr. Cap. 1).

En relación a la universalidad de estos principios, Pozo afirma que el pensamiento humano es determinista:

"Los humanos creemos que todos los hechos están determinados y por tanto pueden ser explicados mediante un conjunto de leyes" (p. 125).

Pero que esta determinación no tiene por qué ser causal:

"Los resultados [se refiere al trabajo de Bullock y otros 1982] muestran claramente que en situaciones físicas simples los preescolares están convencidos de que cualquier hecho que se produzca se debe a algo. Pero quizá sea dar un salto excesivamente largo inferir a partir de ese simple dato que los preescolares (o cualquier adulto que reaccione como ellos en una situación semejante) creen en el determinismo causal. Al hacerlo estaríamos incurriendo en una severa confusión, al hacer equivaler explicación con causalidad. Si acaso, los humanos estamos convencidos de que todo hecho tiene una explicación -respuesta ya de por sí discutible- pero de ello no se deduce que creamos que la única explicación posible es la causal".

Y esto sucede tanto en el pensamiento común como en el pensamiento científico:

"Al igual que en la conducta cotidiana, en la ciencia también son frecuentes las explicaciones no causales" (p.124).

Es decir, según Pozo, *tanto el pensamiento común como el científico* tendrían, en relación a la explicación, un compromiso de naturaleza epistemológica, no ontológica:

"... pero en cualquier caso ni siquiera la posición más extrema pondría en duda los principios causales que hemos enunciado, sino únicamente la universalidad del análisis causal (esto es, el metaprincipio del determinismo causal), que no sólo resulta insostenible en las ciencias sociales, sino posiblemente también en las ciencias físicas, y desde luego, en la vida cotidiana" (p. 132-33. Énfasis nuestro).

Dicho de otra manera: el pensamiento común, como el pensamiento científico, es determinista, pero no causal.

Las reglas de inferencia causal

"Las reglas de inferencia causal constituyen estrategias de decisión para comprobar vínculos causales plausibles" (p. 90). No suministran información sobre la naturaleza del mecanismo productivo implicado, sino que su naturaleza es probabilista, ofreciéndonos unos indicios factuales que hemos de contrastar con nuestras ideas al respecto. Constituyen estrategias heurísticas para alcanzar soluciones probables.

Pozo supone que las jerarquías de las reglas utilizadas varían en función del contenido sobre el que se aplican, respondiendo al modelo interactivo que propone. La posibilidad de que las reglas puedan inducir a inferencias contradictorias entre sí apoyan la idea de que están subordinadas a las teorías causales.

Las reglas enunciadas por Pozo para su modelo son las clásicas humeanas de *contigüedad* (espacial y temporal), *semejanza* y *covariación* (p. 140-150).

Las teorías causales

Las teorías causales, aunque subordinadas a los principios causales, son el elemento que impone la dinámica en el modelo causal.

Esto es así porque el Principio de Transmisión constituye el rasgo diferenciador de las relaciones causales, y, según Pozo, éste tiene una *naturaleza factual y no formal* (p. 85), de manera que la primacía de este principio supone de hecho situar en el primer plano del modelo a las teorías causales.

En la interpretación de Pozo, esto implica que el elemento decisivo del pensamiento causal de los sujetos sean las teorías causales.

| PRINCIPIO | TEORIA |
|-------------------------------|---|
| Constancia | - La misma causa se sigue siempre de los mismos efectos |
| Asimetría | - La causal precede o es simultánea al efecto |
| Condicionalidad | - Un mismo hecho puede tener más de una causa distinta |
| Transmisión generativa | - La causa transmite algo de sí misma al efecto |

CUADRO 3. 1. Principios causales y forma que adoptan en las teorías causales (según Pozo p. 95).

Aunque Pozo da por supuesto que en las teorías actúan los Principios causales, detallando la forma que adoptarían en ellas (ver Cuadro 3.1), de hecho no los considera en el estudio de las mismas ya que:

"Los principios nos dicen muy poco con respecto a las teorías, ya que éstos están determinados en gran medida por la propia organización temática de sus contenidos" (p. 94).

De esta manera, Pozo ve inviable el analizar las teorías causales en todos los dominios, pues sería una empresa inútil buscar factores comunes a todas ellas:

"Las teorías causales son más difíciles de analizar que las reglas. Su vinculación a transmisiones específicas hace imposible un análisis común, "formal", de todas las teorías causales" (p. 258).

Parte segunda: el estudio experimental

Aunque Pozo da por válido su modelo con los datos empíricos de las investigaciones que revisa en la primera parte de su tesis doctoral, plantea un estudio experimental en la segunda, en la que se propone, entre otros objetivos, averiguar cuál es la influencia de las teorías causales sobre el uso de las reglas de inferencia, y el papel de éstas en el desarrollo o aprendizaje de las teorías causales. Para ello elige tres tipos de tareas, una en Física, otra en Historia y otra neutra. **La muestra** la constituyen 48 sujetos voluntarios, que forman cuatro grupos de 12 sujetos cada uno. Tres de ellos constituidos por adolescentes de distintas edades y niveles escolares (7º de EGB (**7E**), 1º de BUP (**1B**), 3º de BUP (**3B**), considerados como representativos de la población normal, y el cuarto grupo formado por adultos jóvenes recién licenciados o matriculados en el último curso de la Universidad, compuesto por seis expertos en Física (**EF**) y seis expertos en Historia (**EH**). Por razones metodológicas obvias, examinaremos sólo los datos relativos a la tarea en Física, que se realiza en relación a una teoría causal, la *mecanización newtoniana*, y a una regla de inferencia, la *covariación múltiple*. La labor de focalización exclusiva en este dominio nos la da hecha el propio Pozo, en su libro *Aprendizaje de la Ciencia y el Pensamiento causal* (1987a)³ donde se publica esta parte de su tesis doctoral.

Resultados

El estudio experimental realizado supone para Pozo un apoyo empírico para hacer las siguientes afirmaciones (p. 179-180):

³ A partir de ahora las citas se referirán a este libro, mientras no se advierta otra cosa.

- El pensamiento causal es interactivo. No puede estudiarse sin considerar simultáneamente las teorías causales y las reglas de inferencia.

En este punto destaca lo siguiente:

a) No existe una relación positiva entre la calidad de la teoría causal y las reglas de inferencia. Es decir, las correlaciones en el uso de reglas de inferencia no resultan significativas ni con la estructura de la teoría causal, ni con las ideas causales, ni con la cantidad global de las ideas causales.

b) Cuando hay conflicto entre teoría y regla de inferencia, normalmente éste se resuelve en favor de la teoría. Es decir, el hecho de que haya una interacción regla/teoría no significa que el sujeto conceda igual relevancia a ambos componentes.

- A partir de los 14-15 años los adolescentes poseen reglas inferenciales de covariación múltiple. Las deficiencias de su pensamiento causal no parecen tener una raíz lógica, sino que están más bien vinculadas a sus conocimientos en áreas conceptuales específicas. En este sentido, los preadolescentes y los adultos no son seres cognoscitivamente distintos. La *diferencia* fundamental de los sujetos investigados es simplemente que *unos saben más y mejor mecánica* que otros. Las diferencias entre contenidos diversos y la semejanza entre universitarios no expertos y adolescentes apuntan hacia la especificidad de esas carencias: *lo que les falta a los sujetos es una buena teoría*.

El que los sujetos posean reglas inferenciales de covariación múltiple (control de variables), no quiere decir que lo hagan correctamente: el sujeto controla todas las variables que considera relevantes, ignorando las demás.

- Si el uso adecuado de las reglas de inferencia alcanza un cierto grado de universalidad, no puede decirse lo mismo de las teorías causales. Aunque los expertos dan muestra no sólo de poseer más conocimientos, sino de tenerlos mejor organizados, también ellos incurren ocasionalmente en algunas ideas erróneas que resultan particularmente persistentes.

A este respecto destacamos un dato que nos parece interesante: Si eliminamos a los expertos de la muestra, sólo un sujeto de los 42 restantes utiliza las reglas de covariación múltiple con propiedad al explicar su teoría causal. Incluso entre los expertos, sólo dos de los seis de la muestra las manejan adecuadamente (p. 167-168).

- Parece que, al menos a partir de la adolescencia, lo que se desarrolla en el desarrollo del pensamiento causal son las teorías explicativas que poseen los sujetos. Sin embargo, poco o nada sabemos sobre ese desarrollo.

- Las nociones más difíciles para los sujetos de la muestra total, tanto expertos como novatos, han sido (p. 167):

- estado de reposo
- movimiento de caída de proyectiles
- movimiento inercial
- relación de la fuerza aplicada con la velocidad del cuerpo
- velocidad de caída de los cuerpos.

Pozo no ofrece una explicación de este hecho.

Comentarios al Modelo de Pozo

En relación al modelo presentado por J. I. Pozo y a los resultados de su investigación, nos parece adecuado destacar lo siguiente:

- Puede ser útil para el estudio del pensamiento causal considerar y diferenciar los *componentes sintácticos y semánticos* del mismo, señalados en el modelo.
- Evidentemente, habrá una interacción entre ambos aspectos.
- Parece que en el modelo propuesto, según los datos empíricos, las reglas de inferencia (aspecto *sintáctico* del pensamiento causal) se supeditan a las teorías causales (aspecto *semántico* del pensamiento causal), de manera que en caso de conflicto el *contenido* tiene primacía sobre la *forma* (p. 51).
- Aunque los Principios Causales están situados en un nivel jerárquico superior al de las teorías causales y reglas de inferencia, Pozo no estudia su incidencia en los otros dos componentes del pensamiento causal, ya que el Principio de Transmisión generativa, rasgo diferenciador de las relaciones causales, tiene, según Pozo, una naturaleza factual y no formal (1985 p. 85).
- Pozo da por demostrado que las concepciones causales espontáneas excluyen el determinismo causal, del mismo modo que se excluye en las ciencias.

Esto supondría, utilizando las categorizaciones de Bunge (1959), que los sujetos en sus explicaciones espontáneas mantendrían un *compromiso epistemológico*, no ontológico.

Pensamos que el estudio de Pozo deja abiertas algunas cuestiones, de interés para nosotros:

- 1) La incidencia de los Principios Causales en las "teorías causales".

- 2) El tipo de determinismo que se mantiene en el pensamiento causal espontáneo.
- 3) Por qué algunas nociones resultan particularmente difíciles, tanto a expertos como a novatos.

3.1.2. LOS "MARCOS ALTERNATIVOS" DE R. DRIVER

La postura teórica de R. Driver se explicita con bastante claridad en su artículo de 1982, *Children's Learning in Science*. Dice textualmente (p. 74):

"Hay un cuerpo de evidencias extraído de la investigación que indica que el razonamiento del individuo se basa más en teorías causales implícitas, en expectativas de causa y efecto, que en argumentos lógicos. Estudios de Wason y Johnson-Laird (1972), Karmiloff-Smith e Inhelder (1975) y Donaldson (1978), apoyan el punto de vista de que son las teorías causales que los sujetos poseen las que estructuran las percepciones e influyen en el aprendizaje posterior. En algunos casos, éstas teorías informales son simplemente versiones más vagas y menos articuladas que las teorías aceptadas que se enseñan. En la asimilación del nuevo conocimiento lo que se requiere es la progresiva diferenciación y reintegración de las ideas ya existentes, como señala Ausubel (1968).

Sin embargo, en otras situaciones las nociones informales de los alumnos pueden estar menos de acuerdo con las teorías científicas y diferir de ellas en puntos significativos. A estos casos los he llamado marcos alternativos (Driver y Easley 1978, Driver 1981). Como están basados en las intuiciones de los alumnos acerca de las experiencias de cada día, estos marcos alternativos pueden mantenerse persistentemente y ser resistentes al cambio por medio del aprendizaje" (Enfasis nuestro).

Los "argumentos lógicos" a que hace referencia la cita anterior son los definidos por Piaget como característicos de las estructuras mentales que determinarían el razonamiento del individuo. Desde 1978 Driver mantiene esta posición precisamente como una alternativa a la teoría y a la investigación didáctica realizada en la tradición piagetiana:

"El problema de asignar "niveles de dificultad" [a los conceptos] se contempla de otra manera cuando se mira desde la perspectiva de los estudios piagetianos. La asumida dependencia del aprendizaje de algunos conceptos científicos de ciertas operaciones lógicas preexistentes ha sido muy atractiva, tanto como explicación de largos retrasos en la disponibilidad para aprender algunos conceptos, como por las predicciones sobre el aprendizaje que hace posibles (...). Sin embargo, las descripciones publicadas acerca del pensamiento de los alumnos sufren una selección impuesta por este paradigma que puede limitar su valor para la didáctica de las ciencias" (Driver y Easley 1978 p. 79).

Esto no significa que Driver no conceda ninguna importancia a la investigación piagetiana. Pero no es la *teoría piagetiana* la que puede aportar algo interesante a la investigación didáctica, sino los datos empíricos sobre los que se apoya:

"Los resultados de dichos estudios [los de Piaget] todavía merecen la pena de ser escrutados, no en términos de las estructuras lógicas que ponen de manifiesto, sino en términos de contenidos de las respuestas de los alumnos de diferentes edades" (Driver 1981 p. 98).

"En general, por supuesto, el trabajo de Piaget es una fuente importante para estudiar las ideas de los niños. Pero creo que su trabajo debe ser leído prestando más atención al pensamiento causal de los niños que a las estructuras lógicas que Piaget postula para explicarlo" (ibidem).

De hecho, Driver ha estudiado la obra de Piaget, particularmente su trabajo sobre causalidad (Driver y Easley 1978, Driver 1981, 1982, 1983a). Pero sólo para contraponer la estructura lógica, propuesta por Piaget, con el "pensamiento causal", ligado a contenidos concretos. Para Driver es clara la prioridad del segundo sobre el primero. Argumenta su postura con los trabajos de Wason y Johnson-Laird (Driver 1978 p. 58), de los que recoge las conclusiones siguientes:

"... cuando el material es concreto (...) le confiere (al sujeto) una facilidad natural para realizar suposiciones y deducciones, pero el que ésta facilidad se convierta en una ventaja depende precisamente de las exigencias estructurales de la tarea. Cuando ambos coinciden, como en la gran mayoría de nuestros trabajos y los de otros autores (por ejemplo, Inhelder y Piaget 1958), entonces el razonamiento es relativamente fácil. Cuando los dos están en conflicto, entonces la causalidad tiende a vencer, en detrimento de la actuación lógica" (Wason y Johnson-Laird 1972 p. 316-317 de la trad. castellana).

The Pupil as Scientist?

El esfuerzo más articulado por exponer su punto de vista en relación al pensamiento causal lo realiza Driver en su libro *The Pupil as Scientist?* (1983a), que quiere ser una fundamentación tanto teórica como experimental de la importancia del pensamiento causal en el planteamiento de una didáctica de las ciencias. En relación a la fundamentación teórica, el libro añade poco más a la argumentación ya presentada en sus artículos del 78 al 82. Se trata de nuevo de los trabajos de Ausubel, Wason y Johnson-Laird y Donaldson, a los que se añade el estudio de Meyerson (1908), con su distinción entre legalidad y causalidad. Es ahora esta distinción lo que utiliza como punto de arranque para el estudio experimental que plantea en la segunda parte del libro:

"En su libro Identidad y Realidad, Meyerson hace la distinción entre causalidad y legalidad (...), describiendo dos procesos mediante los cuales se hacen las predicciones y las inferencias sobre los fenómenos. En el pensamiento causal las predicciones o explicaciones se basan en los esquemas conceptuales de los individuos, los argumentos se construyen sobre las experiencias previas. La legalidad hace relación al reconocimiento por parte del individuo de la necesidad lógica de ciertas predicciones: se argumenta basándose en la forma de las proposiciones, sin referencia a su contenido o significado. (...).

Demostraremos que cuando se trata de la aceptación de ideas o de su comprensión por parte de los alumnos, es en su pensamiento causal en el que confían" (1983a p.61-62. Énfasis de la autora).

Driver ilustra su pensamiento interpretando con esta clave de lectura los comentarios de varios alumnos de 11 a 13 años ante diversos problemas. En los 8 capítulos de que consta el libro presenta 18 ejemplos de alumnos situados ante otros tantos problemas. Acotamos algunos que nos parecen representativos:

- "Al final de una secuencia de lecciones sobre acción y reacción, se le pidió a Richard que predijera que pasaría con dos carritos (uno pintado de rojo y otro de verde) al ser impulsados por un muelle presionado colocado entre ambos. Su respuesta fue:

- "... el carrito verde irá hacia este lado y el rojo puede que vaya un poco hacia este lado, pero... no tan lejos como el verde, porque el muelle tendrá una fuerza hacia este lado y va a tener otra fuerza igual de reacción, pero la fuerza de reacción, por alguna razón es igual de fuerte, pero no tiene el mismo efecto en el carrito. Su efecto no es tan fuerte".

En esta afirmación vemos que Richard conoce que el problema hace relación al principio de acción y reacción, e incluso reconoce que las dos fuerzas deben ser iguales. Sin embargo, su intuición le sugiere que el carrito que empuja tiene que comportarse de distinta manera que el que es impulsado, de manera que finalmente, al hacer su predicción confía en su intuición" (Driver 1983a p. 39).

- "Se le pidió a un alumno de 13 años que planteara un experimento con un péndulo. Le habían mostrado dos péndulos con diferentes períodos, y le habían explicado que esto podía deberse a que tenían diferentes longitudes o diferentes pesos, o a las dos cosas. Se le pedía que en su experimento encontrara la respuesta correcta. El chico escribió:

- "Tú puedes hacer un experimento porque el peso es más pequeño, porque el más pequeño oscila el más rápido, porque el otro coge más peso a medida que oscila, pero el hilo no interviene de ninguna manera".

Obviamente, realizar un test empírico conlleva suspender el juicio. Si un alumno piensa que conoce la respuesta previamente, el test tiene que aparecer como superfluo" (Ibidem p. 67).

- "Richard investigaba la extensión de sus muelles bajo pesos crecientes. La gráfica que dibujó distaba mucho de ser lineal:

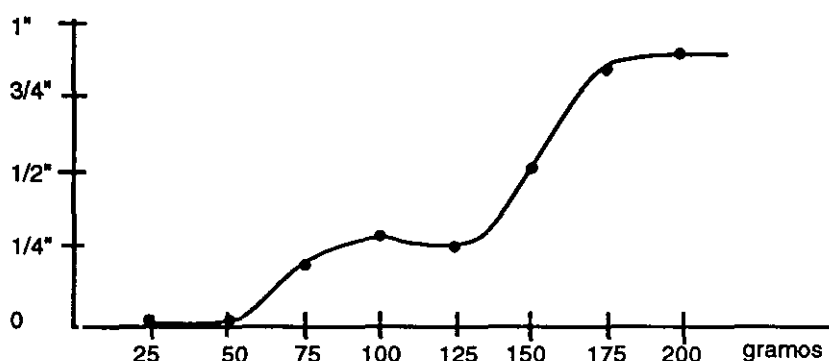


FIGURA 3.2

Los comentarios de Richard muestran sus reservas en relación a sus observaciones:

- Un muelle se estira a saltos. No lo creo, pero mi gráfica lo señala.

Para que Richard no crea los resultados, tiene que tener algunas expectativas, alguna idea de cómo los datos tienen que aparecer, de manera que le hagan cuestionarse y luego repetir sus medidas. La legalidad o la forma de un argumento por sí mismo no es suficiente. La satisfacción intelectual viene de haber construido un marco interpretativo adecuado" (Ibidem p. 68-69).

La explicación que Driver ofrece de las reacciones de los sujetos ante este tipo de situaciones es que éstos poseen una *teoría causal* previa, gracias a la cual de alguna manera, antes de que el fenómeno suceda, el sujeto *conoce* de antemano lo que va a suceder.

La representación del pensamiento semicuantitativo

En un Apéndice al libro que venimos comentando, se añade un trabajo presentado por Driver en un Seminario sobre el tema *Observación en la clase de Ciencias* impartido en la Universidad de París VII.

Se trata también de un material experimental sacado de su propia tesis doctoral. En esta tesis, realizada sobre el tema *The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students* (Driver 1973), lo que la autora pretende es justamente lo explicitado en su título, es decir, representar los marcos conceptuales de los pre-adolescentes (11-12 años), no estudiar su relación con el pensamiento causal. No obstante lo traemos aquí porque ella misma hace una interpretación en términos de pensamiento causal de estos pasajes y porque añade un aspecto poco tocado en la literatura sobre ideas de los alumnos, que es el aspecto dinámico de las mismas.

Para la recogida de datos, la autora ha utilizado un método etnográfico, fundamentalmente observando un aula de ciencias durante tres meses, y registrando el trabajo de los alumnos tanto en vídeo como en magnetofón. Particularmente ha seguido a cuatro alumnos de 11-12 años, dos chicos y dos chicas.

Driver propone un modo de representación de los marcos conceptuales de los alumnos y de su evolución, ideando para ello la siguiente notación (Driver 1983a pp 90 y ss):

Sea S el sistema con el que se está trabajando. Si el alumno abstrae de éste sistema las características a y b, que integra en unos conceptos más generales A y B, que están relacionados, la representación se hace de la siguiente manera:

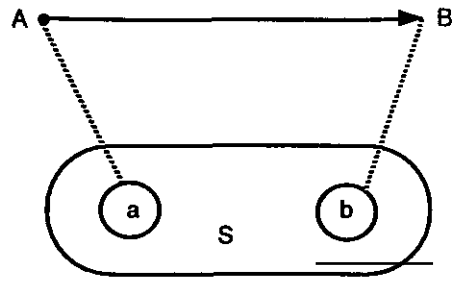


FIGURA 3.3

Si entre **a** y **b** se expresa una relación en la que interviene una magnitud ("más grande", "igual que", "menor que"), **A** y **B** se representan con líneas del siguiente modo:

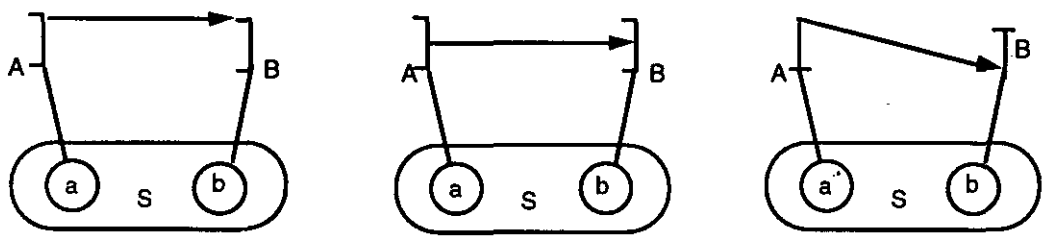


FIGURA 3.4

Si lo que se expresa entre **a** y **b** es una proporción lineal, ésta se representará mediante unas líneas cruzadas unidas a la que relaciona **A** y **B**, como se indica en la figura. De igual modo, en los casos en que **A** y **B** se componen en sus relaciones con otro tercer aspecto, **D**, del sistema, las aspas se unirán mediante una línea curva al concepto **D**:

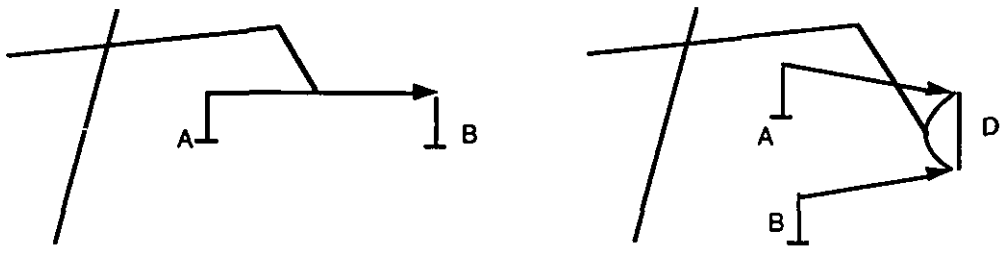


FIGURA 3.5.

Cuando el sujeto hace relación a su experiencia previa al analizar el Sistema **S**, y ésta experiencia influye de alguna manera en el análisis de las características de **S**, se representa mediante otro sistema **i-n**, en el que se consideran las características que el sujeto menciona.

Ilustraremos el método de representación de Driver con uno de los ejemplos que transcribe en este Apéndice, en el que también aparece el comentario de la autora. En él Jane y Cathy están investigando la fuerza requerida para tirar de objetos a lo largo de distintas superficies horizontales:

- "La secuencia muestra cómo gradualmente las chicas consideran una serie de factores, como el ángulo del dinamómetro con la superficie y la velocidad con la que tiran del objeto, para obtener resultados convincentes

J- Sí, lo haremos en el suelo, y luego limpiaremos un buen sitio y lo haremos allí, a ver si hay alguna diferencia, ¿OK?

C- (Cathy asiente). Eso no se verá aquí (refiriéndose al dinamómetro).

J- Puede que sí. Si tenemos uno sensible, te apuesto a que sí... muy, muy sensible.

C- Muy, muy pequeño.

J- Como medio gramo.

Jane tira del bloque a lo largo del suelo. Según lo hace, deja que el ángulo que forma el dinamómetro con el suelo varíe desde ser paralelo al suelo hasta formar 30° con él.

J- ¡Es más! Vamos a mantener la cosa paralela... lo que marca la fuerza, paralelo con el suelo.

Las chicas anotan esto en su cuaderno.

C- O.K. ...el marcador de fuerza... paralelo-con-el-suelo.

J- ¿Cuál es la fuerza?

Jane tira del bloque a lo largo del suelo, manteniendo el dinamómetro paralelo al suelo.

J- 25

C- ¿25 qué?

J- Esto... lo ví por aquí.

C- Kilos

J- ¡Kilogramos no, gramos! Gramos, Cathy, G-R quiere decir gramos.

(Se omiten frases)

J- O.K. Vamos a hacerlo en la mesa (pasa la mano por la superficie de la mesa). ¿Podemos decir que es ligeramente áspera?

C- Sí

J- El mismo bloque y todo lo demás, excepto la superficie.

Jane empieza a tirar del bloque a lo largo de la mesa, cuando de repente se para.

J- Pero deberíamos haberlo hecho a la misma velocidad, ¿no crees?

Vuelve con un tractor de juguete.

J- Vamos a repetirlo, Cathy, porque probablemente no lo hicimos a la misma velocidad en el suelo.

Jane engancha el tractor al dinamómetro y lo pone a funcionar a lo largo de la mesa, mientras observa la fuerza que marca.

J- Alrededor de 25... 50, quiero decir. Mejor es repetirlo de nuevo.

Lo repite.

J- 50, ¿no es cierto?

C- Sí

J- O.K.

Las chicas toman nota del dato y repiten la medida en el suelo.

C- 25. Es menos".

(Driver 1983a p. 104-106).

Driver representa la evolución del pensamiento de las chicas a lo largo del episodio transcrito de la siguiente manera:

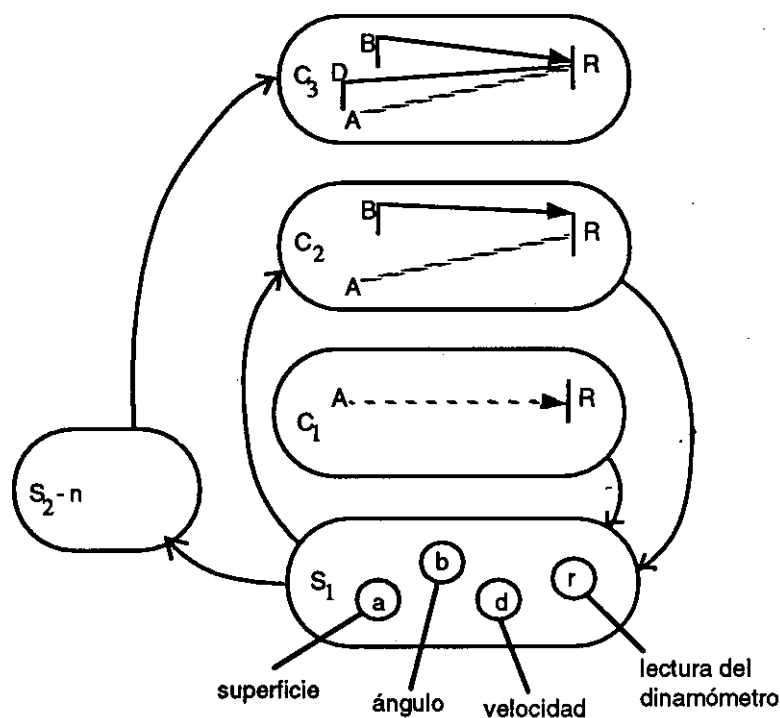


FIGURA 3.6

S_{2-n} representa una teoría causal previa, según la cual los sujetos ya *conocían* de alguna manera lo que tenía que suceder.

En relación a este modo de representación la autora advierte:

- "Debe quedar claro que el método de representación es descriptivo, no analítico. Su propósito es exponer con más claridad las distintas características del pensamiento de los alumnos acerca de sucesos causales. Es también un modelo dinámico: representa características cambiantes. A este respecto es diferente, por ejemplo, del intento de Piaget al modelizar el pensamiento de los niños utilizando una lógica formal, lo cual produce una representación esencialmente estática" (Ibidem p. 89).

Comentarios a la propuesta de Driver

A partir de 1983 los trabajos de Driver parecen perder la perspectiva que tenían los que hasta aquí hemos venido revisando. Diríamos que los marcos alternativos toman interés

en sí mismos, sin referencia a un pensamiento causal, que era el entorno teórico al que hasta entonces se habían venido refiriendo. De hecho, en otras publicaciones del mismo 1983 ya no se hace relación a este tema (Driver 1983b, Driver y Erickson 1983).

En relación a la posición teórica adoptada por R. Driver, habría que señalar que su postura coincide con la de Pozo, al señalar la importancia del componente semántico - contenidos- en el pensamiento causal. Los datos empíricos que aduce para ello, extraídos de los trabajos de Wason y Johnson-Laird, Donaldson y de los propios suyos, son bastante convincentes y aceptados en la literatura sobre el tema. Pero Driver no estudia en detalle ese pensamiento causal. Tampoco explica su preponderancia en los casos de conflicto con los argumentos lógicos o formales del discurso de los sujetos. Su pensamiento sobre el tema es menos afinado que el de Pozo, pues no hace las distinciones que hace este autor entre principios, teorías y reglas de inferencia, sino que engloba todo lo que ella llama, siguiendo a los autores que cita, pensamiento causal. De esta manera, se puede explicar que su interés se deslice hacia el estudio de los contenidos o teorías causales con exclusividad, y que, por último, éstos contenidos o marcos alternativos que poseen los sujetos cobren toda la relevancia, adquiriendo cada vez más importancia el dato empírico (ideas de los alumnos) con menoscabo del marco interpretativo que hacía referencia al pensamiento causal, de donde procedía, a nuestro modo de ver, su principal valor teórico potencial⁴.

Gracias al método de investigación seguido, Driver percibe y da cuenta en su trabajo, del aspecto *dinámico* (cambios) de las ideas de los sujetos de su estudio a medida que éstos interaccionan con los sistemas que se les proponen. Los cambios que Driver describe y representa en la publicación que venimos citando se refieren a los observados en las ideas de los sujetos en una sola sesión de trabajo, sin intervalos temporales. Pensamos que este es un aspecto importante, poco tratado y descrito en la literatura.

Pero en relación a la *explicación del cambio*, nos resulta difícil entender cómo los sujetos han llegado a tener teorías previas relativas a *todas* las situaciones en las que Driver estudia sus comportamientos

3.1.3. COMENTARIO CONJUNTO

En su conjunto, las aportaciones de estos dos autores ponen de manifiesto:

- Un pensamiento causal complejo.

⁴ A este respecto, no resulta extraño la poca repercusión que estos trabajos de Driver, relativos al pensamiento causal, han tenido en la literatura. Sólo conocemos una referencia que alude explícitamente a los mismos (Clement 1979).

- La preponderancia de los aspectos semánticos del mismo sobre los sintácticos.
- Los cambios que las ideas de los alumnos (pensamiento causal) experimentan a medida que interaccionan con los sistemas físicos.

Dejando abiertas las siguientes cuestiones:

- Incidencia de los Principios causales en las "teorías causales" (¿Están también sometidos a los aspectos semánticos?)
- Tipo de determinación (si alguna) que informa el pensamiento de sentido común.
- La explicación del cambio que experimentan las ideas causales que constituyen una teoría (¿cuál es el motor del cambio?)
- Posibles restricciones del cambio (¿se cambia de idea arbitrariamente o hay alguna dirección en el cambio?)
- La explicación de las dificultades para el aprendizaje que se observan en relación a determinados conceptos

Todos estos aspectos nos parecen importantes de cara a juzgar acerca de la coherencia/incoherencia del pensamiento espontáneo de los sujetos.

3.2. INTERPRETACION CAUSAL DE LAS IDEAS DE LOS SUJETOS

En este grupo consideramos a una serie de investigaciones que, aunque no estudian propiamente el pensamiento causal de los sujetos, interpretan las ideas espontáneas que éstos manifiestan como relacionadas con una posible concepción causal.

Aunque haya excepciones (por ejemplo, Hewson 1990), puede decirse que el objeto que guía a estos investigadores al intentar esta interpretación responde a la necesidad de buscar lecturas coherentes de los datos empíricos dispersos que proporcionan las investigaciones en concepciones espontáneas. Andersson (1986) resume bien la que nos parece postura definitoria de este grupo:

"Existe la necesidad de encontrar elementos comunes en lo que aparecen como resultados dispares de la investigación, de manera que los distintos hallazgos formen un grupo coherente y podamos adquirir una comprensión más profunda del razonamiento de los alumnos" (Anderson 1986 p. 155).

Presentamos a continuación las aportaciones de los distintos autores que hemos encuadrado en este apartado.

3.2.1. B. ANDERSSON: LA CAUSALIDAD COMO GESTALT EXPERIENCIAL

En su artículo de 1986, *The Experiencial Gestalt of Causation: a common core to pupils' preconceptions in Science*, Andersson toma el término "gestalt experiencial" de Lakoff y Johnson, que en sus trabajos sobre la influencia de la estructura metafórica en el lenguaje y en el sistema conceptual humano, lo definen de la manera siguiente:

"Una gestalt experiencial es una estructura multidimensional que forma un todo, y que se origina naturalmente de la experiencia" (Lakoff y Johnson 1980b p. 202).

Al referirse a la *causalidad* en la vida cotidiana, estos autores la categorizan como una gestalt experiencial:

"La causación es un concepto humano básico. Es uno de los conceptos que más a menudo utiliza la gente para organizar sus realidades físicas y culturales. Sugerimos que la causación se entiende mejor como una gestalt experiencial. Una comprensión adecuada de la causación exige que se la considere como un conjunto de elementos. Pero este conjunto forma una gestalt, un todo que los seres humanos encontramos más básico que sus partes" (Lakoff y Johnson 1980a p.110 de la trad. cast.).

Para Andersson (1986 p. 156) esta estructura holista constituye

"... lo que hay de común en las explicaciones y predicciones de los alumnos en áreas tan diferentes como la temperatura y el calor, la electricidad, la óptica y la mecánica. Llamaremos a este elemento común gestalt experiencial causal".

Según Andersson, las partes de esta gestalt son:

agente - instrumento - objeto (o paciente)

Las relaciones entre estos tres elementos tienen las siguientes características, que Andersson señala citando literalmente a Lakoff y Johnson (1980a p.110-111 de la trad. cast.):

- "- El agente tiene como objetivo un cambio de estado en el paciente.*
- El cambio de estado es físico.*
- El agente tiene un plan para cumplir su objetivo*
- El plan exige que el agente use un programa motor.*
- El agente controla este programa motor.*
- El agente es primariamente responsable de llevar a cabo su plan.*

- *El agente es la fuente de energía (es decir, el agente dirige sus energías hacia el paciente), y el paciente es el objetivo de la energía (es decir, el cambio en el paciente se debe a una fuente de energía exterior)*

- *El agente toca al paciente con su cuerpo o con un instrumento (es decir, se da una coincidencia espacio-temporal entre lo que hace el agente y el cambio en el paciente)*

- *El agente lleva a cabo su plan con éxito.*

- *El cambio en el agente es perceptible.*

- *El agente vigila el cambio en el paciente a través de la percepción sensorial.*

- *Hay un único agente específico y un sólo paciente específico.*

Las doce propiedades anteriores caracterizan un prototipo de causación en el siguiente sentido: se repiten una y otra vez, acción tras acción, a lo largo de nuestras vidas cotidianas... A través de su constante recurrencia en nuestro funcionamiento cotidiano, emerge la categoría de causación con este complejo de propiedades como características de la causación prototípica" (Andersson 1986 p. 156).

La Gestalt Causal y la interpretación de las ideas de los alumnos

Andersson utiliza las reglas antes citadas para interpretar las concepciones espontáneas de los sujetos. Para ello analiza datos empíricos de distintas investigaciones, y los interpreta desde esta perspectiva causal. Veamos algunos de los ejemplos de análisis que realiza en el artículo que venimos citando.

a) Desplazamiento de volumen (Andersson 1974; Karplus y otros 1977). Los problemas planteados en esta investigación eran del tipo siguiente:

"Dos bolas de idéntico volumen y diferentes materiales, una de vidrio y otra de acero, se sumergieron hasta el fondo en dos probetas idénticas que contenían la misma cantidad de agua. La bola de vidrio hizo subir el nivel del agua desde 6 a 8 unidades en la probeta 1.

¿Cuánto subirá el nivel del agua en la probeta 2?

Las respuestas fueron parecidas a éstas:

- "Creo que la probeta 2 subirá hasta cerca de la señal 10, porque se ha puesto más presión en el agua. Esto significa que la empujará hacia arriba. La bola de acero me parece que sería más pesada" (*Norman, 12 años*).

- "El nivel de HO en la probeta 2 subirá más de 8, probablemente hasta 10, porque la bola en la probeta 2 es más pesada que en la probeta 1. Es como en las balanzas, mientras mayor es el peso más alta va" (*David, 14 años*).

Interpretación de Anderson: El agente es la bola, el objeto es el agua de la probeta. El agente hace que el agua suba. El prototipo de causación del alumno le dice que *un mayor esfuerzo por parte del agente produce un efecto mayor*. (Andersson 1986 p 159).

b) Expansión de gases (Andersson y otros 1983)

El problema propuesto en este caso era el siguiente:

- "Se coloca un globo en la boca de un frasco de vidrio. Luego se calienta el frasco con la llama de una vela. El globo se eleva, como se ve en la figura. Entonces se aparta la vela y el globo sigue aún levantado. ¿Pasa algo al globo si se pone el frasco boca abajo?. Si es así, ¿qué le pasa al globo?. Dibuja cómo quedaría todo si el frasco con el globo se pone boca abajo. Explica tu respuesta.

La mayoría de los alumnos dibujaron y explicaron que el globo se aflojaría y contraería. Las razones fueron del tipo:

- "El gas sube hacia arriba siempre, por lo tanto el globo se viene abajo. El gas estaría en el frasco".
- "El globo vuelve a la forma que tenía al principio, porque el aire caliente se va al frasco".

Interpretación de Andersson: la llama es el agente; el aire de la parte baja del frasco, el objeto. El aire caliente (nuevo agente) se eleva y llena el globo (nuevo objeto). "Lo que es especial en este experimento es que *la causación tiene una dirección particular*, es decir, *hacia arriba*" (Anderson 1986 p 161).

c) Electromagnetismo (Andersson)

El problema presentado a los sujetos era el siguiente:

"Un alumno experimenta con electroimanes. Enrolla cable eléctrico alrededor de piezas de distintos materiales y conecta los cables a una batería (ver diagrama). A veces el alumno consigue que el electroimán atraiga algunos clips.

En la bolsa de plástico encontrarás dos sistemas:

- Sistema A: Trozo de hierro enrollado con cable sin aislar.
- Sistema B: Trozo de hierro enrollado con cable aislado con plástico (el plástico está quitado en los dos extremos del cable).

¿Qué verías si el Sistema A y el Sistema B se conectaran a sus respectivas baterías? Pon una señal en la contestación.

- Los dos, A y B atraerán clips.
- A atraerá clips y B no.
- Ni A ni B atraerán clips.

¿Cómo has llegado a esa conclusión?"

Los alumnos contestaron mayoritariamente que A atraería clips y B no, argumentando con razonamientos de este tipo:

- "El cable de B está aislado, por lo tanto no entra en contacto con el hierro".
- "El plástico aislante impide al hierro magnetizarse".
- "En A la corriente entra en el cilindro. Por lo tanto, éste se magnetiza. En cambio, el cilindro con el cable aislado no se magnetiza".

Interpretación de Andersson: La batería es el agente, la corriente es el instrumento, la pieza de hierro el objeto. *El contacto es esencial para que exista efecto* (Andersson 1986 p 163)

Comentario

Según Andersson, las características que describen las relaciones entre *agente* - *instrumento* - *objeto* no se limitan a las 12 expuestas anteriormente, sino que se acrecentarían, a medida que los sujetos entran en relación con el mundo (1986 p 157). Así, en los ejemplos que analiza en el artículo que venimos comentando, las amplía, según el contexto, de manera que en conjunto podemos contabilizar unas 20 reglas causales enunciadas por Andersson en este trabajo.

El número de reglas y su dependencia del contexto nos hace pensar en que ésta intuición de Andersson se sitúa en lo que Pozo llama *componente semántica* del pensamiento causal. Y al no poseer estas reglas ningún tipo de restricción, su número podría crecer indefinidamente. Nos tememos que, en la práctica, este modo de caracterizar la *Gestalt experiencial causal* podría también llevarnos al punto al que nos han llevado las investigaciones en ideas de los alumnos, esto es, a obtener un catálogo de reglas causales, en lugar de un catálogo de ideas espontáneas. Con lo que no habríamos cambiado el nivel del análisis, sino que simplemente, habríamos cambiado de perspectiva, quedando sin resolver el problema de la coherencia.

3.2.2. SEBASTIA: LA CAUSALIDAD COMO "RESTRICCIÓN COGNITIVA"

Sebastiá publica en 1984 su artículo *Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes*. En el mismo hace una revisión de los trabajos realizados hasta entonces sobre este tema, e intenta constatar si en una muestra de sujetos españoles los preconceptos que aparecen son semejantes a los hallados en poblaciones sajonas y francesas. En efecto, hay coincidencias. De manera que entre sus conclusiones, Sebastiá señala:

"Las leyes generales de la dinámica que parecen regir las interpretaciones de los estudiantes son las siguientes:

- 1) *Los conceptos de reposo y movimiento son dinámicamente diferentes.*

2) Si un cuerpo no cambia su posición al transcurrir el tiempo las fuerzas que actúan sobre el cuerpo están equilibradas.

3) Si un cuerpo se encuentra en movimiento existirá al menos una fuerza en la dirección del movimiento.

4) Si un cuerpo se encuentra momentáneamente en reposo la fuerza que actúa sobre el cuerpo está equilibrada o existe un desequilibrio de las fuerzas en la dirección del movimiento que adquirirá el cuerpo en el instante posterior" (Sebastiá 1984 p 165).

Ante estos resultados, Sebastiá hace la interpretación siguiente:

"La interpretación de los estudiantes parece responder a una estructura del pensamiento de tipo causal, indisoluble de la idea de explicación. Desde este punto de vista, las fuerzas serían las causas que explicarían el movimiento de los cuerpos. Las fuerzas "extras" introducidas por los estudiantes en sus interpretaciones parecen responder a la necesidad de no violar esta relación de naturaleza causal.

Las leyes generales de la dinámica que utilizan los estudiantes establecen una relación entre la fuerza y el movimiento que concuerda perfectamente con las características propias de la relación causal (Bunge 1979)⁵:

1. Condicionalidad. La existencia de fuerzas no equilibradas es una condición para que ocurra el movimiento.

2. Asimetría y sucesión existencial. El movimiento sólo aparece después de la existencia de fuerzas no equilibradas.

3. Constancia. Siempre que existan fuerzas no equilibradas actuando sobre un cuerpo, éste seguirá moviéndose o comenzará a moverse.

4. Productividad. El movimiento es producido por la fuerza" (Sebastiá 1984 p 165).

En dos trabajos teóricos posteriores, Sebastiá (1987, 1989a)⁶ atribuye la invariabilidad y tenacidad de las ideas de los alumnos a la existencia de "restricciones cognitivas", del tipo investigado por Chomsky (1980), Keil (1981) y Shepard (1984):

- "[Esto] sólo puede ser entendido dentro de una teoría del desarrollo cognitivo, cuyo principal énfasis se coloque en las propiedades formales de las estructuras y en los procesos del conocimiento que permanecen invariables a través del tiempo. Según esta perspectiva el desarrollo cognitivo sería parcialmente guiado por un conjunto complejo de restricciones que limitaría el tipo de conocimiento que puede ser aceptable en un dominio específico" (Sebastiá 1987 p 406, 1989a p 364-65).

⁵ Se trata de la tercera edición de Bunge 1959, trabajo comentado por nosotros en el Capítulo 1.

⁶ En realidad son dos versiones ligeramente distintas del mismo trabajo. Quizá sea esta la razón por la que Sebastiá mantiene en las dos el mismo título.

Sebastiá refiere varias de estas *restricciones cognitivas*, una de ellas de particular interés para nosotros:

- "Una de las restricciones más notables en la interpretación de fenómenos físicos proviene de la atribución de vínculos de causa-efecto a la relación entre conceptos, por ejemplo, fuerza-movimiento en mecánica, corriente-voltaje en electricidad, ojo-objeto en óptica (Viennot 1979, Cohen y otros 1983, McDermott 1984). La elaboración de estos fenómenos por parte de los estudiantes parece que posee las características que Bunge (1979) ha descrito como típicas de una "restricción causal" [sic], es decir, (a) condicionalidad, (b) asimetría, (c) constancia y (d) productividad.

La existencia de este tipo de restricción cognitiva (que podríamos llamar "restricción causal", y que Andersson (1986) ha llamado "Gestalt experimental causal") puede llevar a muchas de las interpretaciones espontáneas encontradas y al rechazo por parte de los estudiantes de las interpretaciones con esquemas explicativos diferentes" (Sebastiá 1987 p 408, 1989a p 367).

Comentario

A diferencia de Andersson, Sebastiá parece referirse al aspecto formal del pensamiento causal, al que atribuye un origen innato. El pensamiento causal tendría, además, las características *Generativas* atribuidas por Bunge a una concepción ontológica de la causalidad.

3.2.3. NUSSBAUM: LA CAUSALIDAD COMO MARCO METAFÍSICO

La interpretación de la concepción causal como *marco metafísico* que explica la comprensión de determinados fenómenos físicos por parte de los alumnos, la realiza Nussbaum en su artículo de 1985 *The particulate nature of matter in the gaseous phase*. Este artículo es una síntesis de las investigaciones realizadas por este autor juntamente con Novick (Novick y Nussbaum 1978, 1981, Nussbaum y Novick 1982) sobre las concepciones espontáneas de los sujetos acerca de la teoría cinética de la materia en estado gaseoso.

En su investigación, Nussbaum elabora una red de conceptos de sentido común, que se pondría en relación con la red de conceptos teóricos que elaboraría la ciencia para el tema de la teoría cinética de la materia (Cfr. p. 216 de la trad. cast.). Lo interesante de esta red, para nosotros, es que muestra que el concepto científico *partícula* se conecta con el de sentido común *cuerpo*. Este elemento, según Nussbaum, pone en conexión con la teoría cinética de la materia otras redes de conocimientos, en particular la relativa al comportamiento mecánico de los cuerpos.

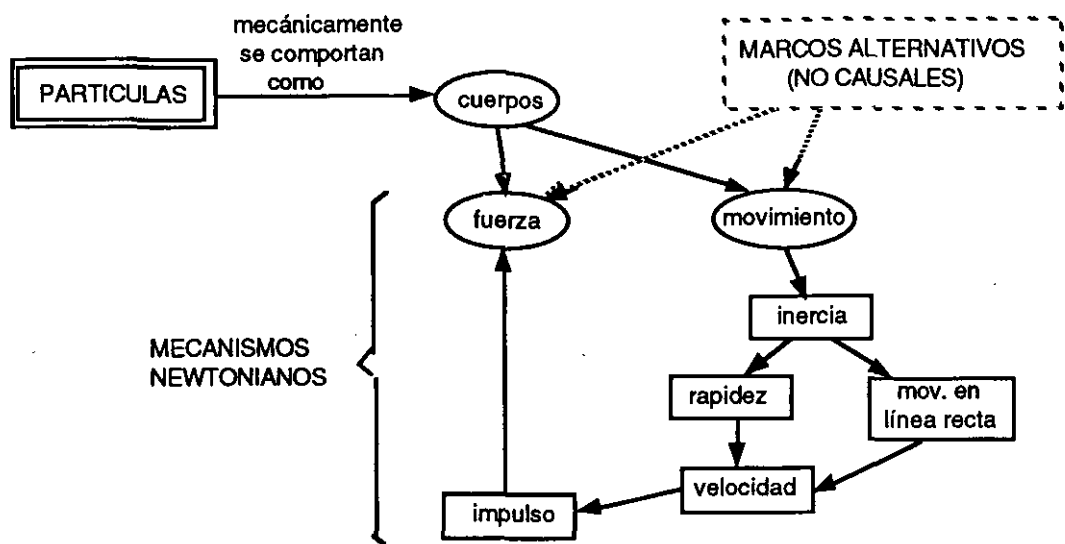


FIGURA 3.7. Marco conceptual científico newtoniano y puntos cruciales en los que influenciaría la concepción alternativa espontánea (Según Nussbaum 1985 p 218 de la trad. cast.).

En las Figuras 3.7 y 3.8 se muestra la interpretación de Nussbaum en forma de redes. En la primera se desarrolla el marco conceptual científico newtoniano, poniéndose de manifiesto los puntos cruciales en los que la influencia de la concepción espontánea alternativa influenciarían la comprensión y asimilación de los conceptos. En la segunda se muestran los marcos alternativos metafísicos no causales y su relación con la mecánica newtoniana.

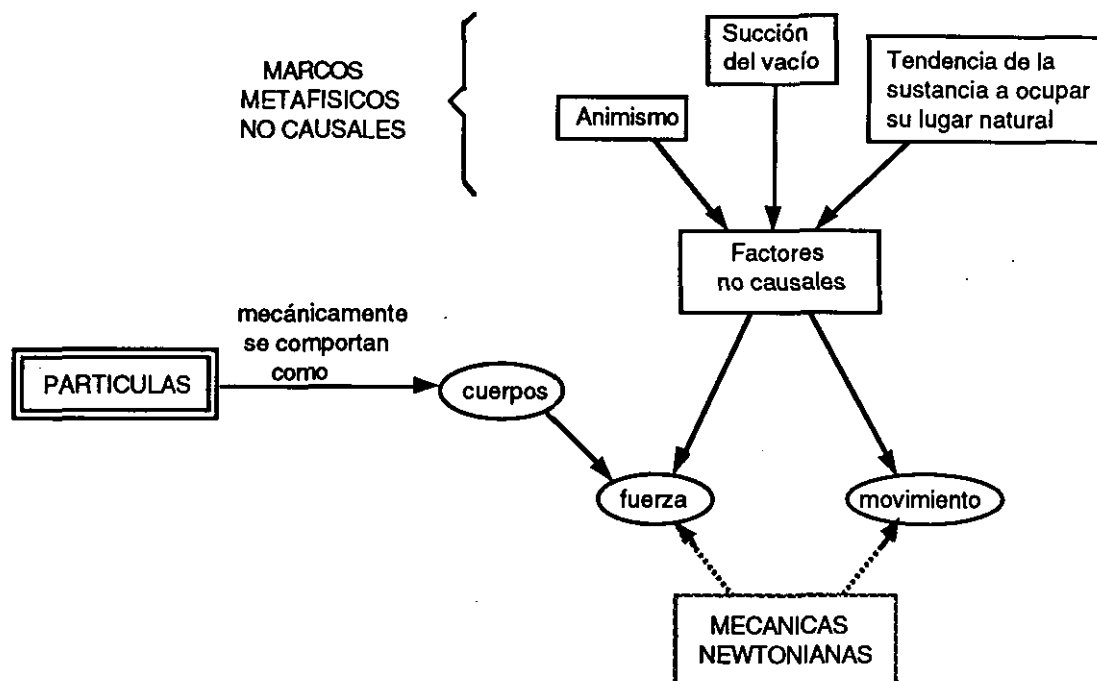


FIGURA 3.8. Algunos marcos metafísicos no causales. Se recuerda la mecánica newtoniana como el marco alternativo (Según Nussbaum 1985 p 219 de la trad. cast.).

Para Nussbaum es evidente que estas concepciones metafísicas que él llama "marcos metafísicos no causales" (*non-causal metaphysical frameworks*)⁷ son las que explican la peculiaridad de las ideas espontáneas de los sujetos en torno al movimiento de los cuerpos:

- "El marco newtoniano y sus marcos alternativos rivales están basados en diferentes supuestos metafísicos. Una característica común a todos los marcos alternativos mencionados (a continuación) es la suposición de que hay factores "no-físicos", "no-causales", que pueden crear fuerzas y movimientos" (Nussbaum 1985, p. 218-219 de la trad. cast.).

Comentario

Según Nussbaum la concepción causal que explicaría las ideas espontáneas de los sujetos en torno a la teoría cinética de los gases y a la dinámica newtoniana se originaría en supuestos metafísicos que él llama *no-causales*, como el animismo, el horror al vacío y la tendencia de la sustancia a ocupar su lugar natural (ver Figura 3.8). Según él, estos son factores *no-físicos*, con los que adquirirían sentido las explicaciones que dan los niños a los fenómenos que observan. Hay una identidad entre factores *no-físicos* y *no-causales*. No se explicita si este supuesto metafísico supone un compromiso con una causalidad *generativa*, aunque parece que, por la naturaleza de los factores que señala, se niega la productividad del vínculo causal (Bunge 1959).

⁷ La edición castellana traduce *estructuras metafísicas no causales*.

3.2.4. STEINBERG, MINSTRELL, HEWSON Y HELM: CAUSAS, EFECTOS Y APRENDIZAJE

Estos autores parten del supuesto de que los sujetos analizan los fenómenos con los que se enfrentan en términos de *causas* y *efectos*. Si esto es así, este modo de *ver* la realidad debe influir en el aprendizaje.

Siguiendo esta lógica, los autores citados plantean estrategias para la instrucción basadas en esta perspectiva:

- **Steinberg** (1983, 1985, 1987) las plantea en el tema del aprendizaje de la electricidad. Su estrategia didáctica se basa en facilitar a los sujetos la *búsqueda de agentes causales* que puedan dar cuenta de los fenómenos eléctricos. Sus datos demuestran que el cambio conceptual se favorece con este método. Por ejemplo, logra que los alumnos superen los errores conceptuales derivados de la idea de que en los circuitos eléctricos elementales la intensidad de la corriente *produce* la diferencia de potencial (Steinberg 1983, 1987). Este éxito es esencialmente relevante, dada la tenacidad de esta concepción espontánea (Tiberghien 1983, Shipstone y otros 1988, Shipstone 1984, Cohen y otros 1983).

- **Minstrell** (1982) trabaja en el campo de la mecánica elemental. Desarrolla estrategias para facilitar a los sujetos la *búsqueda de efectos causales* y el establecimiento de analogías para la correcta comprensión de las situaciones de reposo y movimiento de los cuerpos. Explícitamente se basa en la argumentación de que "*efectos iguales son producidos por causas iguales*", por lo tanto si los sujetos perciben igualdad de efectos buscarán similitudes en las causas. La eficacia del método seguido hace afirmar a Steinberg que las estrategias didácticas de Minstrell son "el único ataque eficaz que conozco contra el resistente error conceptual *el movimiento-implica-una fuerza*" (Steinberg 1987 p. 480).

- **Hewson** (1990) también plantea sus estrategias en el campo de la mecánica elemental. Propone que se utilice un programa de ordenador en el que se explicitan las relaciones *causa-efecto* que se dan en la mecánica newtoniana. Parte del supuesto de que la "epistemología causal débil" (subsidiaria de la experiencia) de los estudiantes perderá *status* al confrontarse con la "epistemología causal fuerte" (se impone a la experiencia) de la mecánica newtoniana. No estudia cuál es esta epistemología causal débil que tienen los estudiantes, sino que la presupone. El programa de ordenador se oferta como propuesta didáctica que producirá el cambio conceptual, pero no se aportan resultados empíricos de su puesta en funcionamiento en las aulas. Las estrategias utilizadas son referidas a *dada una causa buscar su efecto, y dado un efecto buscar su causa*.

• **Helm (1980)** se limita a apuntar la importancia que puede tener un análisis en términos de "causas" y "efectos", tanto en las estrategias didácticas como en los materiales escritos que se entregan a los alumnos. Prueba esta afirmación con el análisis de las respuestas a un test escrito que realizan 460 alumnos y 65 profesores, en los campos de la dinámica elemental, termodinámica elemental, electricidad y electromagnetismo elemental. En su trabajo no indica cómo ha realizado este análisis. No lleva a cabo ninguna acción didáctica encaminada a provocar cambios conceptuales, ya que el test mencionado solamente tenía una finalidad exploratoria.

Comentario

Los autores, como Steinberg y Minstrell, que traducen en estrategias didácticas su convencimiento de que los alumnos piensan en términos de *causas y efectos* al analizar los fenómenos, tienen éxito en la introducción de los conceptos que se proponen (relativos a la electricidad y a la mecánica básica). El primero parece sacar partido (aunque no lo explicita) del principio "*toda causa tiene un efecto*"; mientras que el segundo se da cuenta de que los alumnos utilizan la "estrategia de razonamiento" *a iguales efectos, iguales causas*, y este es el principio que pretende resaltar en sus actuaciones en el aula. Hewson utiliza ambas estrategias explícitamente en la propuesta que realiza en su programa para ordenador, pero no da cuenta de los resultados.

3.2.5. COMENTARIO CONJUNTO

En conjunto, los autores de este grupo comparten una intuición común: el pensamiento causal de los sujetos es importante para explicar las concepciones espontáneas de los sujetos; alguno de ellos han propuesto estrategias didácticas basadas en esta suposición, que han resultado eficaces. Pero es imposible unificar los puntos de vista que en relación a la causalidad mantienen los distintos autores: mientras Anderson fundamenta su trabajo en los estudios de Lakoff y Johnson sobre metáforas y lenguaje común, y enumera hasta 20 reglas o características causales referidas a distintas áreas de contenidos, Sebastián se apoya en el trabajo de Bunge y enuncia cuatro características o reglas causales que *parecen* referirse a una concepción causal generativista; en cambio, Nussbaum se basa en la historia de la ciencia, y no enuncia reglas causales; Hewson se basa en la epistemología de la ciencia; Steinberg cita a Piaget; y Minstrell y Helm no especifican las fuentes en las que se apoyan.

Todos ellos ofrecen una explicación de los datos empíricos *ex post facto* (Hashweh 1988) y carecen de un modelo causal explícito que pueda justificarla.

3.3. CAUSALIDAD Y RAZONAMIENTOS NATURALES

El programa de investigación de los autores que encuadramos en este grupo coincide en proponer la búsqueda de "tendencias de conjunto" en las respuestas y comentarios que hacen los sujetos en situaciones experimentales que puedan justificar el planteamiento de hipótesis acerca de la existencia de modos de razonamientos espontáneos comunes. En la introducción a su tesis doctoral, L. Viennot, al exponer el objetivo de su trabajo, también expresa el que pensamos que es objetivo común de los autores que examinaremos en este apartado:

"El marco general de este trabajo es, pues, una investigación de los modos de razonamiento de los estudiantes en física. Este término "razonamiento" designa aquí, de manera muy general, el procedimiento mediante el cual, a partir de una cuestión sobre una realidad física dada, la persona interrogada elabora una respuesta, (...). Nos proponemos demostrar que, al menos en este dominio de la mecánica elemental, estas dificultades en el análisis formal correcto de la realidad física están relacionadas en parte con la existencia de modos de razonamientos propios, la mayor parte espontáneos e intuitivos" (Viennot 1977: p. 1 y 3).

Las investigaciones que vamos a comentar se han realizado todas en el LDPES (*Laboratoire de Didactique de la Physique dans l'Enseignement Supérieur*), de la Universidad París VII, bajo la inspiración o la dirección de L. Viennot. Destacamos esta relación entre ellas porque supone un gran esfuerzo de investigación mantenido durante más de 10 años, que ha continuado *con el mismo programa*, y ha sido llevado a cabo por diversos investigadores en una variedad de contenidos. Aquí revisaremos los que se han presentado como tesis doctorales, que abarcan temas relativos a la *dinámica elemental* (L. Viennot, 1977), la *cinemática* (E. Saltiel 1978), la *resolución de problemas* (S. Fauconnet 1981), la *electrocinética* (J. L. Closset 1983), la *propagación de señales mecánicas* (J. L. Maurines 1986) y la *termodinámica elemental* (S. Rozier 1988). Cada una de estas investigaciones ha aportado nuevas perspectivas y ha significado un nivel más de profundización en el estudio del razonamiento espontáneo de los sujetos. Aquí solo apuntaremos los aspectos de las mismas que son significativos para nuestro propósito, en relación al pensamiento causal común de los sujetos.

3.3.1. L. VIENNOT: LA NOCION DE "FUERZA SUMINISTRADA"⁸

L. Viennot realiza su tesis doctoral sobre el tema *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire* (1977).

⁸ En francés *capital de force*. Traducido al inglés por la misma Viennot (1979) como *supply of force* y por Carrascosa (Saltiel y Viennot 1985) por *provisión de fuerza*. Sugiere la idea de un "capital" que se transfiere y que es susceptible de "gastarse". Nosotros traduciremos la expresión por *fuerza suministrada*, que guarda el significado psicológico que Viennot abscribe a su término *capital de force*.

Según esta investigación, el razonamiento espontáneo de los sujetos en éste área de conocimiento se caracteriza por la utilización de dos tipos de fuerzas:

- La fuerza de interacción, real, F_{ex} , que determina la variación de la velocidad ($F_{ex} = \alpha(\Delta V)$).

Este tipo de fuerza es suficiente para interpretar el movimiento cuando éste se dá en el mismo sentido que la fuerza, o para deducirlo cuando no viene dado (salvadas las posibles dificultades de cálculo). Conforme al modelo científico formal, es el tipo de fuerza que interviene cuando el movimiento no es accesible más que por su expresión analítica. Responde a la formulación explícita de "fuerza ejercida sobre".

- La *fuerza suministrada*, F_c , ligada al movimiento y deslocalizada, que funciona según la relación $F_c = \alpha(V)$

Este tipo de fuerza interviene cuando el movimiento se impone a la intuición como dato de partida, y éste aparece incompatible con la fuerza real de interacción, F_{ex} .

Juega el papel de *causa* del movimiento. Se corresponde con las expresiones de los sujetos, "fuerza de una masa", y con la idea de capitalización: "le queda fuerza" (Viennot 1977 p. 42-43).

La relación $F = \alpha(V)$ tiene las propiedades siguientes (Viennot 1977 p. 38):

1. Si $V \neq 0$, $F \neq 0$, incluso si $a = 0$
2. Si $V = 0$, $F = 0$, incluso si $a \neq 0$
3. Si $V_1 \neq V_2$, $F_1 \neq F_2$, incluso si $a_1 = a_2$

La noción de *fuerza suministrada* expresa una amalgama de magnitudes mal diferenciadas, que puede recibir distintos nombres: "fuerza", "ímpetu", "energía", "momento", "velocidad" (Viennot 1977 p. 46-47).

En cuanto a las circunstancias en que los sujetos utilizaban esta noción, Viennot (1979 p. 208) señala que el *razonamiento V-F* (fuerza suministrada) se utiliza con preferencia, 1) cuando la situación que se presenta a los sujetos es fácilmente accesible a la imaginación. Es decir, cuando se puede *representar*, en el sentido habitual del término, tanto los movimientos como los dispositivos para el mismo; 2) cuando las cuestiones no se plantean a los sujetos en términos puramente analíticos; 3) cuando los movimientos que se

presentan parecen incompatibles con las fuerzas (no son de la misma dirección y sentido y no se anulan al mismo tiempo el movimiento y las fuerzas reales).

Además de estas nociones de fuerza, Viennot describe el uso que los sujetos hacen de otras dos nociones, la de fuerza de inercia y la de fuerza centrífuga. Las *fuerzas de inercia* son "las que hacen caer hacia adelante a un viajero cuando el vehículo frena o le hacen resbalar del asiento en una curva"; las *fuerzas centrífugas* son "las que equilibran las fuerzas en los movimientos circulares y permiten que los objetos sigan esta trayectoria" (Viennot 1977 p. 48-55; 66-71). Ambas parecen responder al concepto de *fuerza suministrada* expuesto anteriormente (Viennot 1979 p. 209).

Estos tipos de "fuerzas" pueden actuar simultáneamente en un cuerpo, según los datos empíricos de la investigación de Viennot (Cfr. las Figuras 3.9 y 3.10)

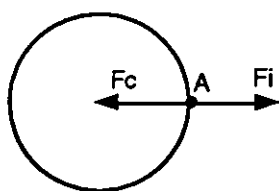


FIGURA 3.9. Dos "fuerzas" son sumadas para explicar el movimiento de A: la fuerza centrípeta - real, tensión de la cuerda - y la centrífuga - ficticia, "fuerza suministrada" (Viennot 1979 p 70).

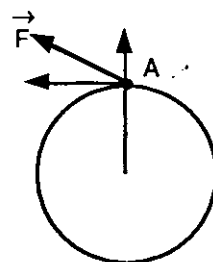


FIGURA 3.10. Dos "fuerzas" ficticias son sumadas para explicar el movimiento del punto A: una "fuerza tangencial" y una "fuerza centrífuga" (Viennot 1989a y 1989b, con datos de Viennot 1977 p 65-70).

Comentario

Cuando Viennot describe el *razonamiento V-F*, en 1977, fue un hecho sorprendente. Se han hecho cientos de investigaciones acerca de las ideas de los sujetos en mecánica (Pfundt y Duit (1991) enumeran 281) con muestras que abarcan desde niños de siete u ocho años hasta adultos con diversa formación, universitaria (estudiantes y licenciados en ciencias y letras) o no universitaria. En *todas* ellas se ha dado cuenta de este tipo de razonamiento, aunque en su mayoría no se han planteado desde la perspectiva del *razonamiento natural*, sino de los marcos alternativos o ideas erróneas (Ver revisiones citadas en el Cuadro 1.2). Hoy puede decirse que el *razonamiento V-F*, o el *error conceptual V-F*, es un dato empírico incuestionable.

3.3.2. E. SALTIEL: LA NOCION DE "MOTOR PROPIO"

Saltiel realiza su tesis doctoral sobre el tema *Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en Sciences* (Saltiel 1978)⁹. En ella describe un modelo natural en relación a la cinemática, de características muy diferentes al modelo cinemático que elabora la ciencia:

"... Los modelos cinemático (científico) y natural se distinguen por características muy generales. El modelo cinemático (científico) es única y puramente descriptivo, muy simple formalmente, fácil -en principio- de aplicar de manera sistemática, si se siguen estrictamente sus reglas; pero las situaciones que permite describir pueden ser difíciles de imaginar: la coordinación de movimientos de un mismo objeto en dos sistemas de referencia distintos se traduce difícilmente en imágenes, y la operación llega a ser difícil, a veces incluso imposible, cuando se trata de numerosos objetos. En resumen, todo lo que es causal es extraño a la cinemática y responde a la dinámica: la explicación aquí es puramente formal y estructural, se diría; reposa sobre la existencia de leyes de composición e invariantes.

Por el contrario, el modelo natural es doble, a la vez descriptivo (se desplaza A en relación a B) y explicativo (por qué se desplaza A). Resulta un modelo complicado, en el cual hay muchas relaciones entremezcladas, que son utilizadas frecuentemente caso por caso, y no conducen a puntos de vista sintéticos. Por otra parte, en el modelo natural son fáciles de imaginar los movimientos, tal como se describen. Esta facilidad de representación es sin duda un elemento esencial para explicar la constitución del modelo natural" (p. 125-126).

Saltiel describe en su trabajo estos aspectos explicativos y descriptivos. En síntesis son los siguientes:

- *Velocidad propia* : La velocidad propia de un objeto es aquella que le comunica su *motor propio*. Es una propiedad intrínseca del objeto, del mismo tipo que su masa o sus dimensiones. Es, por lo tanto, independiente de que existan movimientos en otros objetos, y es la misma para todos los observadores (p. 134).
- El *motor propio* de un objeto es fácil de definir cuando el motor está incluido en el objeto (caso de un automóvil, o de un nadador). Es menos fácil, y puede conducir a ideas "falsas" desde el punto de vista de la física, en otras situaciones, como es el caso en el que los efectos de un motor ("músculos del lanzador", por ej.) se transfieren al objeto (a una piedra, por ej.) que se apropia así de este motor (p. 135):

"Las propiedades del motor propio del objeto están atribuidas al objeto, el cual posee una velocidad: concepto causal dinámico mal definido, que engloba

⁹ Las citas de este apartado se referirán a este trabajo de Saltiel, mientras no se indique lo contrario.

frecuentemente los de fuerza y potencia ("la velocidad de la piedra es la fuerza real, a saber, la fuerza muscular del lanzador", "los motores tienen la misma potencia, la misma fuerza, la misma velocidad")" (p. 258).

- Hay una diferencia entre la *velocidad propia*, comunicada al móvil por su motor interno, y la *velocidad de arrastre*, debida a un *motor externo* al objeto. Esta última desaparece cuando se pierde el contacto físico objeto-motor (p. 136).
- *Relación motor-movimiento* : la velocidad no está definida en relación a unos observadores (o sistemas de referencia) sino a partir de su causa "física": el motor. Este se considera también una propiedad del objeto, como su masa o sus dimensiones (p. 138).
- *Combinación de motores-velocidades y fuerza* : Cuando el objeto es arrastrado por un motor exterior, en la mayor parte de los casos se reconoce la existencia de un movimiento resultante.

Se realizan entonces composiciones de velocidades y de distancias recorridas, pero estas composiciones resultan de los efectos conjugados de los motores, y no de un razonamiento cinemático, preservándose en ellos los caracteres intrínsecos de los dos movimientos propios. Cada motor guarda su individualidad: se puede parar uno y no el otro, anular uno al otro las velocidades correspondientes, etc. (p. 141).

Por ejemplo, se pide a los sujetos que hallen la trayectoria de una barca que va a cruzar un río cuya corriente tiene en todas partes una velocidad uniforme, suponiendo que en el momento de partir la barca está orientada perpendicularmente a la orilla (Figura 3.11).

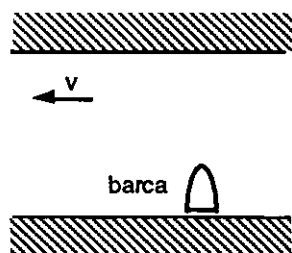


FIGURA 3.11.

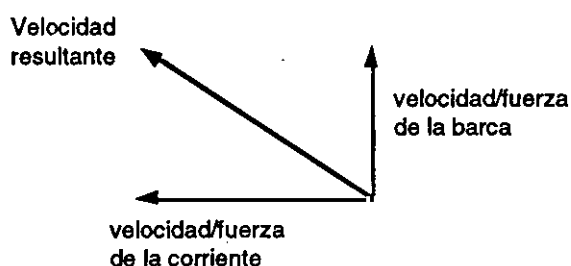


FIGURA 3.12.

Los esquemas que dibujan los sujetos son del tipo que se muestran en la Figura 3.12, donde los componentes pueden adquirir en los dos ejes todas las combinaciones posibles fuerza/velocidad. Lo que revela, según Saltiel, que la

terminología usada es intercambiable: se habla indistintamente de *velocidad* o *fuerza* de la corriente y de la barca, al mismo tiempo que se muestra que no se trata de una auténtica composición, sino de una combinación de magnitudes (p. 142).

Comentario

La complejidad de construcción de que es capaz el pensamiento espontáneo se pone de manifiesto en la descripción del modelo cinemático natural que describe Saltiel en su investigación. Esta construcción del modelo, con estos elementos, no es simplemente una "física paralela" que se han creado los estudiantes universitarios de física a medida que se les enfrentaba con el modelo cinemático científico (cosa que sería en sí misma importante y digna de explicar), sino que también aparece en los estudiantes de letras de la muestra y en niños de 11 años a los que se les enfrenta con las mismas situaciones que a los universitarios de ciencias (Saltiel y Malgrange 1980).

Saltiel utiliza un lenguaje *explícitamente* causal cuando describe sus datos (Cfr. pp. 32, 72, 73, 77, 125, 126, 170, 171,...) y hace interpretaciones causales de los mismos, como en el caso del *motor propio* o de *las leyes de composición*. Incluso describe las circunstancias que favorecen que estos conceptos causales se pongan en juego. Pero no recurre a un posible "pensamiento natural causal" de los sujetos que pueda explicar este comportamiento.

3.3.3. S. FAUCONNET: LA "LECTURA" DEL PROBLEMA

La investigación sobre la que S. Fauconnet realiza su tesis doctoral versa sobre el tema *Etude de résolution de problème: quelques problèmes de même structure en physique* (Fauconnet 1981)¹⁰.

El punto de partida para esta investigación es el siguiente dato de la experiencia:

"Con mucha frecuencia parece que los conocimientos utilizados por los alumnos [en la solución de problemas] no son más que una parte de los que poseen, pero que no han tenido 'éxito' al recordar - son conocidos los casos de alumnos que ante una corrección exclaman 'era muy sencillo, pero no lo había pensado', o de aquellos que dicen que han comprendido la corrección pero son incapaces de resolver el ejercicio" (p. 2-3).

Ante este hecho, Fauconnet se propone estudiar posibles mecanismos que condicionen la utilización de los conocimientos por parte de los sujetos:

¹⁰ Las citas de este apartado se refieren a este trabajo de Fauconnet, mientras no se indique lo contrario.

"Hemos orientado nuestra investigación hacia el estudio del mecanismo de recuerdo de relaciones: ¿Qué hay subyacente en las relaciones recordadas? ¿Existen reglas generales de recuerdo, en el sentido en que se pudiera definir en qué condiciones tal relación será recordada por el sujeto más que aquella otra? ¿Cuál es, en este mecanismo de recuerdo, la parte de restricciones [contraintes] ligada a la estructura de la tarea, al contenido físico, a las representaciones que se hacen, a la existencia de 'modelos naturales'?" (p. 3. Comillas del autor).

Resultados

A) Los datos suministrados por la investigación corroboran la insuficiencia de un modelo de resolución de problemas basado en el modelo *representación-tratamiento*. Se observan unas "rupturas de formalismo" que se ponen de manifiesto, 1º) en *basculamientos* de unas soluciones a otras; y 2º) en *errores de cálculo*.

Lo *primero* se observa en los casos en que las relaciones matemáticas que deberían tratarse simultáneamente se tratan secuencialmente. Fauconnet interpreta esto diciendo que la solución es de hecho una sucesión de fases de recuerdos y fases de cálculo. Si esto es así, ciertos errores no deben explicarse por una incapacidad para efectuar el tratamiento matemático, sino por el hecho de que *la significación subyacente que se atribuye a ciertas relaciones les impide ser utilizadas en un tratamiento puramente matemático*.

Lo *segundo* se pone de manifiesto en casos de cálculo como los siguientes:

$$F = K_1 a_1 + K_2 a_2 = (K_1 + K_2) (a_1 + a_2) \rightarrow F = (K_1 + K_2) a$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1 + R_2} \Rightarrow E = (R_1 + R_2) i$$

Estos "errores de cálculo" parecen responder a algo más que a simples defectos de manipulación formal. Como sucedía en el caso anterior, pueden interpretarse como si el tratamiento matemático se viera condicionado por una idea intuitiva, donde la composición de dos sistemas se debiera traducir por una adición de dos constantes. Si esto es así, *el formalismo no sería más que una tentativa de justificar un resultado que ya "se conocía" de antemano*, sea por recuerdo o por la utilización de *un modelo natural* (p. 86-87).

B) Los datos ponen en evidencia que el recuerdo está relacionado tanto con el contenido como por la presentación del problema, y que la estructura común está lejos de imponer una identidad de tratamientos.

Efectivamente: según los temas, aparecen asociaciones más o menos marcadas y más o menos exclusivas. De manera que se puede decir que la resolución comporta una fase "intermediaria" que consiste en la construcción de una *lectura del problema*, la cual, según los temas, se focaliza más o menos sobre un número limitado de índices.

Es esta *lectura* la que puede explicar en parte el "olvido" en que permanecen ciertas relaciones en la resolución de los problemas, ya que puede ir acompañada de una reinterpretación *errónea* de los datos del enunciado (por ejemplo, leer un dato *geométrico de estado* como un dato *de transformación*) o hacer que ciertas relaciones aparezcan "espontáneamente", con detrimento de otras no tan espontáneas, pero correctas.

También de esta *lectura* dependen las propiedades que los sujetos asignan a las magnitudes que intervienen en los fenómenos. Así la magnitud *fuerza* unas veces se refiere a una *fuerza causa del movimiento*, y en otros a una *fuerza responsable del equilibrio de un sistema*, dependiendo de la lectura que se hace de la misma situación. Aquí Fauconnet hace notar que, en relación al concepto de fuerza, sus resultados coinciden con los encontrados por Viennot (1977) (p. 88-89).

Fauconnet detecta diferentes tipos de *lecturas* en sus datos. En las conclusiones de su tesis las caracteriza como "una *organización de nociones* que posee su propia coherencia, no en función de otros elementos formales o lógicos, sino en función de otros elementos, en particular de los índices privilegiados para tal o cual lectura" (p. 108). Más adelante se refiere a éstas "lecturas" como "conocimientos más generales, que, en interacción con ciertos aspectos del dominio en que van a ser aplicadas, *organizan* el saber específico en la resolución [de problemas]" (Fauconnet 1983. Subrayado nuestro).

Comentario

Fauconnet detecta y describe con el término "*lectura*" un elemento "intermediario" (más adelante Viennot (1985) utilizará el término *mediator*, o *mediador*, para expresar algo parecido)¹¹ que condiciona la comprensión de los textos escritos relativos a problemas de física en tres dominios diferentes: fuerzas y alargamientos, equilibrio de vasos comunicantes y circuitos eléctricos. Esta lectura impone un "filtro" para percibir tanto las magnitudes que intervienen y sus propiedades, como las relaciones que las ligán entre sí, cuya manipulación matemática llevará a la resolución del problema: ¿qué es lo que hace que los sujetos "vean" en los enunciados de los mismos tales o cuales "índices privilegiados" de lectura, y que se dejen guiar por ellos en la resolución de problemas?

El fenómeno de "*basculación*" es detectado por Fauconnet en todo tipo de "*lecturas*". ¿Cómo se explican estos "retrocesos"? ¿Qué mecanismos de autoevaluación se ponen en marcha en el proceso de resolución de problemas que hacen a los sujetos desechar una

¹¹ Sanmartí (1989) se ha referido también a estos "mediator", describiéndolos como obstáculos epistemológicos, al estudiar las dificultades que encuentran los sujetos en el aprendizaje de los cambios materiales, tal como los describe hoy la Química.

solución -incluso cuando ésta es correcta- para quedarse con otra, aparentemente incoherente?

En cuanto a los "*errores de cálculo*", Fauconnet afirma que el sujeto se comporta como si estuviera condicionado por dar una respuesta que ya "conocía" de antemano. Esta misma afirmación la encontramos en Driver (1983a). ¿Querrá decir esto que los sujetos tienen *conocimientos* en los distintos dominios (al menos en *todos* los dominios a los que se refieren las investigaciones) antes de la instrucción específica?

Estos interrogantes que suscitan los datos de Fauconnet nos parecen pertinentes para el tema de nuestra investigación.

3.3.4. J. L. CLOSSET: EL RAZONAMIENTO SECUENCIAL

La tesis doctoral de J. L. Closset versa sobre el tema *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique* (Closset 1983a)¹². Como los otros miembros de este grupo, el objetivo que se propone también se encuadra en el estudio del razonamiento natural, en el campo de la electrocinética:

"Elegimos investigar los razonamientos naturales que permanecen constantes a través de la diversidad de sus manifestaciones, (...). Somos conscientes de que el campo de investigación (la electrocinética) no constituye, eventualmente, más que una parte del dominio de validez de estos razonamientos. Nuestra investigación nos conduce a la construcción de un modelo, del que nos corresponderá precisar lo mejor posible su ámbito de validez" (p. 21).

Como resultado de su investigación, Closset describe un modelo de razonamiento natural en este dominio con las características siguientes:

"Una serie de errores frecuentemente encontrados en las copias de los estudiantes y en el laboratorio de trabajos prácticos pueden ser descritos en términos de "razonamiento secuencial". Este consiste en razonar localmente siguiendo el circuito, normalmente a partir de una fuente, el generador o pila. Esta constituye una reserva de "corriente", a la que deja salir a caudal constante en el circuito, donde se modifica a medida que progresa, con ocasión de encuentros con obstáculos, y sin influencia del final sobre el principio. La "corriente", noción frecuentemente utilizada por los estudiantes en sus razonamientos, presenta frecuentemente un aspecto energético -se puede gastar- y posee algunas de las propiedades de un fluido material.

El razonamiento secuencial se articula, además, a partir de cualquier elemento susceptible de una acción local en el circuito: resistencia, pila, condensador, bobina autoinductora o diodo. Lo más frecuente es que su soporte sea la corriente. Pero puede también manifestarse en términos de tensión, de fase, o de forma de señal. De manera más general, puede estar ligado a una concepción

¹² Las citas de este apartado se refieren a este trabajo de Closset, mientras no se advierta lo contrario.

particular, no sistémica, del mismo circuito" (p. 108; también p. 237. Subrayados nuestros).

Establecido el modelo, se pone a prueba en diferentes poblaciones y en diferentes contextos, confirmandose sus previsiones. Es particularmente interesante la prueba que se realiza del modelo en circuitos abiertos. La lógica que maneja Closset en esta situación es la siguiente: De sí mismo, el razonamiento secuencial no exige el cierre del circuito, ya que lo que sucede al final del circuito no influye sobre el principio. ¿Cómo reaccionarían los sujetos ante una situación de este tipo? Closset realiza las pruebas pertinentes y concluye:

"En su lógica, el razonamiento secuencial no requiere necesariamente el cierre del circuito, sino que tanto para los alumnos de secundaria como para los universitarios, este cierre es operatorio. Hemos puesto en evidencia casos de no cierre en la enseñanza secundaria, antes de la instrucción, dando una presentación un poco diferente al circuito, y en la enseñanza superior, poniendo un circuito de diodos un poco complejo, o circuitos un poco alejados de las situaciones académicas. Aquí también, cuando el no cierre es rechazado en un nivel de enseñanza, basta proponer una pregunta un poco menos habitual para que este no-cierre sea aceptado. Todo esto sugiere que los casos de razonamiento en circuitos abiertos, es decir, en los que no se tiene en cuenta más que la parte del circuito que va del polo positivo al polo negativo de la pila. Desde un punto de vista causal, se tiene entonces relación a una causalidad lineal, más que a un sistema causal cerrado, que daría cuenta del aspecto sistemático del circuito" (p.239-240).

Closset también se pregunta por la incidencia que tiene la instrucción sobre este razonamiento secuencial. Sus conclusiones no son muy optimistas:

"Si se sustituye la lámpara central por una resistencia, sólo la población E.3 [universitarios de niveles superiores] responde correctamente. Si se reemplaza esta resistencia por una caja negra, prácticamente ninguna población escapa del razonamiento secuencial. De manera que la enseñanza no aporta más que remedios particulares: los que no cometen el error en una situación particular, lo cometen de nuevo, si se modifica un poco la pregunta: el razonamiento secuencial se transfiere con preferencia al saber enseñado" (p. 110. Subrayados nuestros).

En cuanto al *ámbito de validez* de este tipo de razonamiento, Closset lo amplía, interpretando con este modelo secuencial los tipos de *lecturas* detectados por Fauconnet (1981) en su investigación:

"La existencia de un modo de razonamiento secuencial ha sido puesto en evidencia bajo una forma especial con ocasión de un estudio de resolución de problemas. Las situaciones examinadas pertenecen una a la mecánica y otra a la hidrostática. Esto nos confirma la idea de que, sea bajo una forma especial de razonamiento progresivo, sea bajo una forma de temporalización, el razonamiento secuencial puede dar cuenta de modos de razonamientos utilizados en diversos dominios de la física, e igualmente en otras disciplinas científicas" (p. 242).

Comentario

La interpretación de Closset se ve reforzada por las investigaciones realizadas independientemente en Inglaterra por **D.M. Shipstone**. Este autor ha descrito un *modelo secuencial* con el que interpreta la conceptualización que tienen desde los preadolescentes (11-12 años) hasta los adolescentes (17-18) y los profesores de Física, acerca de los circuitos eléctricos de corriente continua. El modelo secuencial descrito posee los mismos rasgos que el *razonamiento secuencial* propuesto por Closset: *un modelo de flujo de "corriente" la cual, a medida que progresa por el circuito, es influenciada por cada elemento que se encuentra a su paso. Esta modificación sólo afecta a la corriente al alcanzar determinados puntos, pero no en los tramos anteriores del circuito ("before and after error"). En el modelo los factores espaciales son tan importantes como temporales* (Shipstone 1984, 1985, 1988).

La investigación de Shipstone se realiza dentro de la tradición de los *marcos alternativos*. Con esta misma perspectiva se extiende la investigación a otros cuatro países europeos, Francia, R. F. Alemana, Holanda y Suiza. Los resultados encontrados son análogos a los de Shipstone. Lo cual hace concluir a los investigadores:

"A pesar de las diferencias que se observan, la impresión general que emerge de los resultados es un patrón de dificultades experimentadas por los estudiantes que es sustancialmente el mismo en todos los países, y la existencia de una coherencia casi "natural" de estas dificultades de aprendizaje dentro de la estructura cognitiva" (Shipstone y otros 1988. Subrayado de los autores).

En nuestra opinión, el *razonamiento secuencial* de Closset explica cumplidamente el *modelo secuencial* de Shipstone, a la vez que los datos de Shipstone validan indirectamente el modelo de Closset.

Closset, en algún momento durante su investigación, hace alusión a un pensamiento causal lineal, al interpretar sus resultados (Cfr. p. 103, 175, 240). Pero lo hace con mucha timidez (las citas anteriores suman un total de 7 líneas dedicadas al tema). Iguales alusiones se encuentran en un trabajo posterior (Cfr. Closset 1983b p. 314).

3.3.5. L. MAURINES: EL RAZONAMIENTO FUNCIONAL

El tema sobre el que L. Maurines realiza su tesis doctoral lleva como título *Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques: étude des difficultés des étudiants* (1986)¹³. Como sucede con los otros autores que presentamos en este grupo, el objetivo de

¹³ Las citas de este apartado se refieren a este trabajo de Maurines, mientras no se especifique lo contrario.

su trabajo va más allá de una simple enumeración de las dificultades que muestran los estudiantes en este campo:

"... nos ha parecido deseable construir familias de cuestiones que posean una característica común, aunque otros parámetros puedan variar de otra manera. (...). Esto muestra que las dificultades de los alumnos están ligadas a la existencia de razonamientos espontáneos que favorecen una cierta coherencia interna, que les dota de un carácter general y predictivo" (p. 10-11).

Resultados

De los resultados descritos por Maurines destacamos los que consideramos pertinentes para nuestro trabajo. Son los siguientes:

A) En relación a *aspectos ondulatorios* del fenómeno

- Los alumnos asimilan la señal a la vez a la forma de la perturbación que ellos observan (por ejemplo, la "deformación" sobre la cuerda) y a lo que la provoca.
- Esta confusión causa-efecto se traduce por la existencia de una "capital fuente", noción híbrida, mezcla de fuerza, de velocidad y de energía. Este capital es fuente de dos movimientos: el movimiento transversal de los puntos del medio y el movimiento de propagación de la señal. La forma visible de la señal es, de alguna manera, la materialización del capital fuente y su amplitud revela su valor.
- Los alumnos explican a veces *la forma* de una señal transversal y su desplazamiento como la transmisión sucesiva [*de proche en proche*] de una perturbación. Sin embargo para ellos el movimiento de un punto del medio no tiene su origen en el campo de fuerzas *interno* al medio, sino que es el resultado de la existencia de un capital-fuente comunicado por la fuente a ese medio. El medio no tiene, pues, más que un papel de *soporte pasivo*, sobre el cual se desplaza una deformación: se comporta como un tapiz bajo el cual se desplaza un ratón (p. 180-181. Subrayados de la autora).

B) En relación a un *razonamiento funcional*

- Los alumnos no utilizan nunca relaciones entre tres magnitudes físicas.

En una situación física dada y para la pregunta propuesta, *no forman más que asociaciones entre variaciones de 2 magnitudes* o series sucesivas de tales asociaciones (p.182. Subrayados de la autora).

Maurines hace notar que para una adecuada comprensión de los fenómenos ondulatorios, los sujetos deben, en principio, considerar *simultáneamente*, al menos tres magnitudes relacionadas entre sí. Por ejemplo, f, x, t, V; L, V, T. Pero el comportamiento observado en los datos experimentales muestra algo distinto:

"En una situación dada, los alumnos privilegian una magnitud física, sea esta pertinente o no: ellos la asocian, y sólo a ella, con la magnitud sobre la que versa la cuestión. Establecen así asociaciones entre dos magnitudes físicas, y sólo entre dos. Estas asociaciones hacen intervenir de hecho variaciones de magnitudes, no magnitudes como tales; pueden ser covariantes o contravariantes. La mayoría de éstas son incorrectas" (p. 157. Subrayados de la autora).

Una observación interesante que también apunta Maurines (p. 160) es que *cuando para una misma cuestión la situación propuesta se complica, los alumnos cambian de magnitud física privilegiada*. Así, cuando se les pide que dibujen dos señales que se propagan a través de cuerdas con velocidades diferentes, obtenidas a partir de movimientos de manos idénticos (igual fuente, distinto medio), si las señales están constituidas por *una sola deformación*, 42% de los sujetos -para una formulación cualitativa- utilizan la asociación L-V, y 58% la T-V. Pero si la señal la constituyen *dos deformaciones*, la asociación T-V es *fuertemente privilegiada*, con detrimento de la L-V. Los porcentajes son en este caso 30% para L-V, frente a 70% para T-V. Según Maurines (p. 160):

"El razonamiento de los alumnos parece obedecer en este caso a una regla de simplicidad: éste se simplifica cuando la situación se complica".

Comentario

En relación a las conclusiones de Maurines tocante al *movimiento ondulatorio*, es de notar que utiliza un vocabulario recogido de investigaciones anteriores del grupo; particularmente las expresiones de *capital* y de *capital-fuente* se toman de Viennot 1977 ("capital de fuerza" o "fuerza suministrada") y Saltiel 1978 ("motor propio"); y la de *transmisión secuencial* del fenómeno recuerda el "razonamiento secuencial" de Closset (1983a)¹⁴.

En cuanto al *razonamiento funcional*, Maurines no plantea ninguna hipótesis sobre su utilización en otros dominios distintos a los de su investigación. Ha sido L. Viennot, quien, a partir de unas primeras intuiciones (1983a, 1983b, 1983c) y de los datos aportados por la investigación de Maurines, lo ha sistematizado y generalizado, afirmando lo siguiente (Viennot 1987, 1988a, 1988b, 1989a):

¹⁴La alusión a los hallazgos de Closset, viendo en sus resultados tendencias similares a las propias, es relativamente tardía. Cfr. Maurines (1987) y Maurines y Saltiel (1988), donde tampoco cita a este autor; mientras que sí lo hace en 1992a y 1992b, interpretando los resultados de éste como similares a los suyos.

- Se da en otros dominios, tales como la electricidad, la mecánica y la termodinámica.
- Aparece en todas las poblaciones estudiadas: alumnos de Secundaria (principio y final de la misma), estudiantes universitarios de todos los cursos, y profesores de todos los niveles (de Secundaria, de Normales y de Universidad). En los profesores adquiere la forma de cierto "consenso" acerca de cómo simplificar las explicaciones en física.
- Hay muestras de ello en todo tipo de materiales de enseñanza: manuales, documentación, películas didácticas, etc.
- Puede caracterizarse de manera general del modo siguiente:
 - Ante fenómenos en los que intervienen un conjunto complejo de variables, el razonamiento de los sujetos se apoya con mucha frecuencia sobre la *idea de objeto*, incluso si se trata de un objeto ficticio, como el pulso de una cuerda.
 - Esta idea de objeto contribuye a *fixar ciertas características del fenómeno*, por ejemplo, "la longitud de una deformación".
 - Puede concluirse también que el objeto *favorece adherencias entre magnitudes físicas*, por ejemplo: velocidad y altura, para un pulso en una cuerda; fuerza y velocidad, en un móvil; tensión y corriente en una pila.
 - Los dos factores anteriores -fijación de ciertas magnitudes o agrupamiento de propiedades- se traducen en una *disminución del número de variables*. Son, en este sentido, *procedimientos de reducción funcional*.
 - En otros casos, todas las variables son tenidas en cuenta, pero es el *procedimiento el que se simplifica*: la evolución del objeto es analizada en términos de covariaciones en las que intervienen dos magnitudes o más. Por ejemplo: "el volumen disminuye, por lo que la presión aumenta". Tales relaciones binarias se encadenan en serie - "... la presión aumenta, por lo que la temperatura aumenta", etc...- como etapas de la evolución temporal del objeto, aunque las variaciones de las magnitudes tratadas son en realidad simultáneas. Este caso sigue siendo una variante de la tendencia general a reducir la complejidad funcional de los problemas físicos.

Desde nuestro punto de vista, la descripción del *razonamiento funcional* constituye una gran aportación a la investigación didáctica. Pero el razonamiento funcional *no explica* el funcionamiento de la *regla de simplicidad*. ¿Por qué los sujetos, además de mostrar la

tendencia a operar con dos variables cada vez, cambian esas variables ante determinadas circunstancias? ¿En función de qué las magnitudes privilegiadas cambian unas por otras?

3.3.6. S. ROZIER: EL RAZONAMIENTO LINEAL CAUSAL

La investigación de S. Rozier, objeto de su tesis doctoral, sobre el tema *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire* (Rozier 1988)¹⁵ resulta particularmente interesante y pertinente para nuestro propósito.

El objetivo que se propone es el siguiente:

"Buscamos en este trabajo establecer un modelo para el razonamiento de los estudiantes.

Por "modelo" entendemos una descripción sintética (más operativa que un simple catálogo) de un componente identificable del razonamiento; esta descripción deberá, según los casos, dar cuenta de las manifestaciones observadas de razonamientos, o predecirlas" (p. 3).

Resultados

Rozier interpreta los datos empíricos que obtiene en su investigación en los siguientes términos (p. 119):

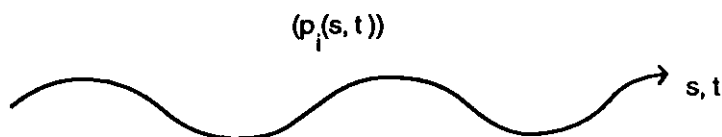
- Parece que los sujetos se enfrentan al fenómeno interpretándolo en función de *dos factores*, los cuales pueden describirse en términos de una *lectura de la situación*, dependiente de elementos específicos de la situación, y de un *procedimiento general de razonamiento*, elemento formal independiente del contexto.

Estos dos elementos interaccionan entre sí, manifestándose como un modelo de razonamiento, al que Rozier llama *Razonamiento Lineal Causal*, que describe con las siguientes características (p. 154-155):

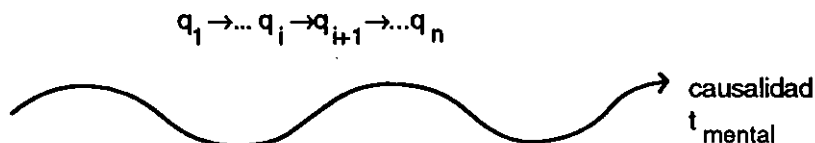
Se distingue en el planteamiento que hace el estudiante ante una situación física dada, la existencia de:

- *Una lectura de esta situación, que se traduce en los casos más frecuentes por la evocación, a lo largo de una historia, descrita en el espacio y tiempos reales, de un conjunto bien determinado de fenómenos, caracterizados por una sola variable, que llamamos "p_i":*

¹⁵ Las citas de este apartado se refieren a este trabajo de Rozier, mientras no se especifique lo contrario.

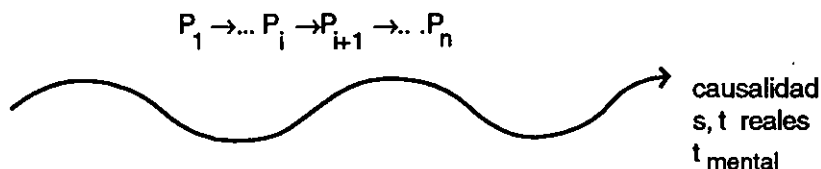


- El recurso a un procedimiento causal de razonamiento, caracterizado por el encadenamiento lineal, siguiendo un eje causal, de un conjunto de fenómenos, " q_i ", en el que cada uno de ellos pone en juego una sola variable. La causalidad de este encadenamiento se acompaña de una secuencialización mental en el tiempo de los fenómenos q_i :



La ejecución del Razonamiento Lineal Causal (RLC) es el resultado de una interacción entre la lectura de la situación y el procedimiento lineal causal del razonamiento.

Este razonamiento toma la forma de un encadenamiento lineal de fenómenos en los que en cada uno se pone en juego una sola variable. Se puede representar de la siguiente manera:



Rozier advierte que "puede ser que el espacio llegue a estar ausente del eje de encadenamiento. Pero el tiempo siempre estará presente" (p. 144). Y que precisamente:

"La secuencialización temporal es obstáculo para una diferenciación entre el sistema físico y el medio exterior asociado, y así parece impedir todo análisis en términos de balances energéticos" (p. 155. Subrayados de la autora).

Con el modelo de Razonamiento Lineal Causal, Rozier integra y explica elementos apuntados anteriormente por otros investigadores de este grupo, como la noción de "fuerza suministrada" (Viennot); la de "objeto-móvil" (real o ficticio) que se desplaza con unas características determinadas (Saltiel; Saltiel y Maurines); la de "lectura" de una situación (Fauconnet); la de "secuencia lineal y progresiva de fenómenos" (Closset), en los que "se pone en juego una sola variable" (Maurines) (Cfr. p. 253-289).

| AUTOR Y TEMA | ELEMENTOS DESCRITOS DEL RAZONAMIENTO NATURAL |
|--|---|
| VIENNOT (1977, 1979) Dinámica elemental | F_{ex} = Fuerza real ($F = \alpha (\Delta V)$) exterior al objeto. F_c = Capital de fuerza ($F = \alpha V$), fuerza ficticia intrínseca al objeto. Ambas pueden actuar simultáneamente en el cuerpo. |
| SALTIEL (1978) SALTIEL y MALGRANGE (1980) Sistemas de referencia galileano | MOTOR PROPIO, intrínseco al objeto, responsable de su VELOCIDAD PROPIA, también intrínseca al objeto. MOTOR DE ARRASTRE, responsable de la VELOCIDAD DE ARRASTRE del objeto, que desaparece cuando deja de actuar el motor de arrastre. Ambos pueden actuar simultáneamente para producir una única velocidad propia al objeto. |
| FAUCONNET (1981, 1983) Resolución de problemas en Física (resortes, vasos, resistencias eléctricas) | LECTURA DEL PROBLEMA: conjunto de índices que imponen un filtro cognitivo a la comprensión del problema. ERRORES DE CALCULO: responden al intento de aplicar una solución que ya se "conocía" de antemano. BASCULAMIENTOS: rechazar una solución por otra, sea la primera correcta o no. |
| CLOSSET (1983a, 1983b) Electrocinética | RAZONAMIENTO SECUENCIAL: razonamiento secuencial, siguiendo el circuito, normalmente a partir de una fuente. |
| MAURINES (1986) MAURINES Y SALTIEL (1988) Propagación de señales mecánicas | RAZONAMIENTO FUNCIONAL: asociación privilegiada entre dos de las magnitudes físicas que intervienen en un fenómeno. REGLA DE SIMPLICIDAD: el razonamiento se simplifica cuando la situación se complica (cambio de una magnitud privilegiada por otra). |
| ROZIER (1988) Termodinámica elemental | RAZONAMIENTO LINEAL CAUSAL: serie encadenada <i>una causa - un efecto</i> . LA SECUENCIACION TEMPORAL, obstáculo para la diferenciación entre el sistema físico y el medio exterior. |

CUADRO 3.2. Principales aportaciones de los trabajos revisados en el grupo que investiga los *razonamientos naturales*. Sólo se explicitan los elementos de cada autor que significan aportación nueva (por ejemplo, Saltiel, Closset, Maurines y Rozier también encuentran la noción "capital de fuerza", que no señalamos por ser descrita originariamente por Viennot).

Comentario

Rozier consigue algo realmente novedoso en la literatura del grupo que estamos analizando: la interpretación causal de una serie de datos empíricos que adquieren coherencia al ser leídos con la perspectiva que aporta el modelo de Razonamiento Lineal Causal.

Pero pensamos que deja abierta algunas cuestiones. Por ejemplo: al analizar con su modelo los trabajos realizados en este grupo y sus resultados más importantes (Cfr. Cuadro 3.2), observamos:

- a) Entre las características del pensamiento espontáneo descrito, por ejemplo, por Viennot (1977) y Saltiel (1978), se señala la posibilidad de que dos "causas" se combinen para producir un único efecto. Así, hay casos en que la *fuerza real* y la *fuerza suministrada* (Viennot), o el *motor propio* y el *motor de arrastre* (Saltiel)

actúan sobre el mismo cuerpo para producir un único movimiento (Ver figuras 3.9, 3.10 y 3.12).

Esto implica una estructura causal no lineal, del tipo

varias causas → un efecto

- b) Del mismo modo, un razonamiento lineal causal con tan fuerte énfasis en el eje temporal progresivo, (Cfr. Rozier y Viennot 1991, Viennot 1993a, 1993b) deja sin explicar los fenómenos de *basculamiento* y los *errores de cálculo*, detectados por Fauconnet, así como la *regla de simplicidad* descrita por Maurines, ya que estos comportamientos implican una revisión en el razonamiento, con posibles regresiones y reconstrucciones, que el modelo no prevé. Como tampoco prevé cuál sería el mecanismo que pondría en marcha tales reconstrucciones.
- c) Por otra parte, no se ve por qué necesariamente tenga que considerarse el Razonamiento Lineal Causal como originado a partir de dos componentes que interaccionan. ¿Podrían leerse los datos en sentido inverso, es decir, que fuera el Razonamiento Causal Lineal el que explicara las características de los otros dos componentes?
- d) Parece que Rozier asigna una sola restricción al pensamiento causal: la de ser *lineal* y *secuencial* (encadenamiento 1 causa → 1 efecto). ¿No existiría la posibilidad de que el razonamiento causal espontáneo de los sujetos presente otro tipo de restricciones?

3.3.7. COMENTARIO CONJUNTO

Así como los trabajos que examinamos en el primer grupo (relativo a *teorías causales*) subrayaron los aspectos ligados al contexto del pensamiento causal, los trabajos de este grupo ponen de manifiesto diversos aspectos "transversales" del pensamiento espontáneo de los sujetos (Viennot 1993a), destacando entre ellos el *pensamiento lineal causal*, para el que Rozier propone un modelo. Con este modelo, la misma Rozier, y también Viennot (Cfr. Rozier y Viennot 1991, Viennot 1993a, 1993b) interpretan una parte de los hallazgos descritos por los distintos componentes del grupo, dejando algunos otros aspectos de los mismos sin interpretar.

3.4. LAS "PRIMITIVAS CAUSALES" DEL MOVIMIENTO

3.4.1. LAS "PRIMITIVAS" EN I.A. Y EN LA "FÍSICA DE SENTIDO COMÚN"

El trabajo de este grupo está conectado con los realizados en Ciencia Cognitiva para caracterizar el sentido común. Existe una tradición investigadora dentro de este campo, y más particularmente en IA, que ha profundizado en las posibilidades que ofrece la búsqueda de "primitivas" para caracterizar este tipo de razonamiento. Estas "primitivas" serían los constituyentes elementales del pensamiento o del lenguaje que tendrían significación en sí mismos, de manera que cualquier otro elemento del pensamiento o lenguaje podría reducirse a ellas para adquirir significado, y ellos no admitirían reducción o descomposición en otros. Así, por ejemplo, Schank caracteriza "actos primitivos" (Schank 1972, 1982, Schank y Abelson 1977), y Johnson-Laird describe "primitivas semánticas", "primitivas conceptuales", "primitivas procedurales", etc., (Cfr., por ejemplo, Johnson-Laird 1983).

Este modo de abordar el problema ha ejercido influencia en las investigaciones realizadas dentro de la Didáctica de las Ciencias, particularmente en la caracterización de elementos "primitivos" del razonamiento que estarían en la base de una *física de sentido común*. Aquí se situarían, por ejemplo, los trabajos de diSessa sobre "primitivas fenomenológicas" (diSessa 1983, 1985, 1988, 1993); las "primitivas conceptuales" o los "modelos de orden cero", de Clement (1982, 1983a, 1983b); los "prototipos" - *spring, falling, trigger, ...* - de Guidoni (1983, 1985).

Desde esta perspectiva, puede decirse que el *Manifiesto de la Física Ingenua* de Hayes (1979, 1985a) es una ambiciosa propuesta de búsqueda de "primitivas" que estén en la raíz de la comprensión de sentido común del mundo físico.

3.4.2. EL TRABAJO DE J. OGBORN, J. BLISS Y D. WHITELOCK

Los trabajos de Ogborn, Bliss y Whitelock en el Instituto de Educación de la Universidad de Londres, se insertan en esta línea de investigación:

"Siguiendo a Hayes, uno de nosotros (Ogborn 1985) desarrolló la parte del Manifiesto de la Física Ingenua relativa al movimiento y propuso las líneas fundamentales de una teoría de sentido común sobre el movimiento" (Ogborn y Bliss 1990).

Esta teoría:

"... Intentará mostrar cómo, desde la primera infancia, las ideas sobre el movimiento pueden estar construidas con los elementos más primitivos de los que dispone el niño, y sugiere que éstos son más tarde elaborados y combinados

para dar un sistema coherente y flexible de movimientos prototípicos, en función de los cuales el razonamiento de sentido común interpreta el movimiento y sus causas" (Ibidem p. 379. Subrayado nuestro).

Los presupuestos de esta teoría son sometidos a investigación empírica (Bliss, Ogborn y Whitelock 1989, Whitelock 1990, Whitelock 1991a) y el resultado es la caracterización de una serie de elementos *primitivos* que están en la base de la explicación de los movimientos por parte de los sujetos. Las primitivas fundamentales son las nociones de *soporte* y *esfuerzo*. Se identificaron una serie de *movimientos prototípicos* de los que se podían dar cuenta utilizando estas características. En el Cuadro 3.3. se ofrece una lista de los mismos.

| MOVIMIENTO | ESFUERZO | SOPORTE |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Caminar o Correr | Del objeto mismo En el presente | suelo |
| Empujar o tirar | De otro objeto En el presente | suelo |
| Caer | Ninguno | no soporte |
| Volar | Del objeto mismo En el presente | su mismo esfuerzo |
| Rodar o deslizarse | De otro objeto Dado en el pasado | suelo |
| Arrojar | De otro objeto Dado en el pasado | su propio movimiento |
| Saltar | Del objeto mismo Dado en el pasado | su propio movimiento |
| Flotar | Ninguno | parcialmente por el aire |
| Transportado | Del objeto que transporta | objeto que transporta |

CUADRO 3.3. Algunos movimientos prototípicos y sus relaciones con las "primitivas" de *esfuerzo* y *soporte* (Ogborn 1991b p 51).

En la investigación, realizada con una muestra de alumnos entre 7 y 16 años, se detectaron algunos fallos menores (por ejemplo, en la teoría no se distingue entre *fuentes* de "esfuerzo" animadas e inanimadas, y los sujetos sí lo hacen), pero los presupuestos fundamentales fueron corroborados con los datos empíricos:

- Las primitivas de "esfuerzo" y "soporte" son centrales en la comprensión del movimiento.
- Las correlaciones fueron significativas para todas las edades; aunque, en general, las predicciones del modelo encajan mejor con las explicaciones que ofrecen los alumnos mayores.
- La gravedad, como prevía la teoría, no juega un papel fundamental en el razonamiento de sentido común sobre el movimiento. Los alumnos la mencionan pocas veces, siendo más frecuente su uso por parte de los alumnos mayores.

Comentario

A) La investigación de Ogborn, Bliss y Whitelock es pertinente para nuestro trabajo porque, entre otras cosas, parece que detecta las conceptualizaciones más primitivas acerca de las *causas* del movimiento. Desde este punto de vista, la noción de "esfuerzo" es central, originaria posiblemente, según la interpretación de Ogborn y Bliss (1990), siguiendo a Piaget (1937), en la interacción del niño con los objetos físicos de su entorno. Según esto, el primitivo prototipo de "causa" del movimiento es el propio niño desplazando un objeto de un lugar a otro.

B) Las nociones de *esfuerzo propio*, *esfuerzo sobre otro* y de *esfuerzo de otro*, (Cfr. Cuadro 3.3) aparecen con otros nombres en todas las investigaciones sobre concepciones espontáneas del movimiento (*fuerzas ejercidas por agentes exteriores sobre el cuerpo que se mueve; fuerza del cuerpo que se mueve; fuerza ejercida por el cuerpo que se mueve*).

C) En el Cuadro 3.3 aparecen dos movimientos que podrían interpretarse como *no causados*: *caer* y *flotar*. Este punto nos parece importante de cara a la posible naturaleza de la concepción causal del sentido común que mantengan los sujetos.

D) Llama la atención también el poco uso de la *gravedad* que hacen los sujetos. Este dato, leído junto con el punto C) anterior, podría reforzar el punto la creencia de que los sujetos piensan "primitivamente" que el movimiento de caída no es causado.

3.5. SINTESIS DE LAS INVESTIGACIONES Y REPERCUSIONES DE LAS MISMAS

Como hemos visto en este Capítulo, la investigación acerca de las características del pensamiento causal espontáneo no es muy abundante en Didáctica de las Ciencias, dentro de

la línea de ideas o teorías espontáneas de los alumnos; y las aportaciones de los distintos autores y grupos están lejos de converger.

Así, Pozo ofrece un modelo complejo para caracterizar el pensamiento causal de los sujetos, destacando en las conclusiones de su trabajo la primacía del *contenido* del pensamiento causal (elemento semántico) sobre la *forma* del mismo (elemento sintáctico); y supone que el pensamiento causal espontáneo es *determinista* pero *no causalista*. Driver se limita a poner de manifiesto la importancia del pensamiento *causal*, considerado como un todo, frente al pensamiento *lógico*; pero no se pronuncia sobre sus características.

Las distintas aportaciones del grupo que trabaja en Paris VII se sintetizan en el *Modelo Causal Lineal*, ofrecido por Rozier. Aparte de las características que sugiere su propio nombre, el modelo no especifica más acerca del pensamiento causal. Este elemento *formal* del pensamiento, según vimos en el apartado correspondiente, deja sin explicar algunas características de las ideas de los alumnos encontradas por los propios investigadores del grupo, que estimamos importantes para juzgar la coherencia-incoherencia de las mismas.

Los trabajos de Ogborn, Bliss y Whitelock han puesto de manifiesto una serie de "primitivas" causales del movimiento, pero no hacen ninguna hipótesis sobre otros aspectos del pensamiento causal.

De las otras investigaciones puede decirse que han partido de intuiciones valiosas y que han puesto de manifiesto dos aspectos interesantes: 1) la importancia de tener en cuenta el pensamiento causal de los sujetos en los temas de aprendizaje; y 2) la posibilidad de hacer un análisis de las ideas de los alumnos con una perspectiva causal. Los distintos autores ofrecen opiniones encontradas acerca de las características que asignan el pensamiento causal espontáneo.

No conocemos más investigaciones básicas que las apuntadas en torno al tema causal. A partir de éstas, diferentes autores han puesto de manifiesto la importancia de tener en cuenta el pensamiento causal de los sujetos para diseñar estrategias didácticas eficaces (por ejemplo, Rudnitsky y Hunt 1986, Ganiel y Eylon 1987, Fischbein y otros 1989, diSessa 1990, Settle 1990, Anderson 1990, Pazzani 1991, Pozo y otros 1991, Grimellini-Tomasini y otros 1993); otros han incorporado el *razonamiento lineal causal* como una característica de las ideas o teorías espontáneas de los sujetos (por ejemplo, Driver 1988, 1989, Driver y Scalón 1989, Hierrezuelo y Moreno 1988, Whitelock 1991b, Pozo y otros 1992); y en algunas investigaciones este pensamiento *lineal causal* se ha puesto de manifiesto (por ejemplo, Membiela y otros 1993, Whitelock y otros 1991a, 1991b, 1992).

PARTE II

INVESTIGACION DEL PROBLEMA.

4. ESTUDIO EXPLORATORIO

La bibliografía revisada en los capítulos anteriores pone de manifiesto los siguientes aspectos:

- Cuál sea la *naturaleza de la concepción causal espontánea* de los sujetos (causalista, acausalista), es un tema que se ha hipotetizado en Didáctica de las Ciencias (Pozo, Sebastián, Nussbaum,...), pero que no se ha estudiado directamente.
- El análisis del *componente semántico* del pensamiento causal espontáneo ha sido un elemento que no ha llevado a los investigadores a encontrarse con un pensamiento espontáneo de los sujetos que se muestre coherente (Pozo, Andersson).
- El hallazgo de un *modelo sintáctico* para el pensamiento causal espontáneo de los sujetos, como el Razonamiento Causal Lineal propuesto por Rozier, explica coherentemente una serie de datos empíricos aportados por los sujetos, pero deja otros sin explicar.
- Las *metodologías* utilizadas para obtener información de los sujetos se han limitado casi con exclusividad a las que proporcionan datos de un *primer nivel de explicitación* del pensamiento (Cfr. Cuadro 4.1).

| INVESTIGACIONES. | OBJETO DEL ESTUDIO. | METODOLOGIA. |
|-------------------------------|---|---|
| J. I. Pozo | Reglas de inferencia causal | - Cuestionarios escritos - Resolución de tareas prácticas |
| R. Driver | Pensamiento causal versus pensamiento lógico | - Observación de resolución de tareas prácticas (etnometodología) |
| Grupo "Paris VII" | Razonamiento natural | - Cuestionarios escritos |
| Grupo "Interpretación Causal" | Interpretación causal de las ideas de los alumnos | - Análisis <i>ex post facto</i> de datos |
| Ogborn, Bliss y Whitelock | Primitivas causales del movimiento | - Tareas clasificatorias (escritas) |

CUADRO 4.1. Investigaciones revisadas en Didáctica de las Ciencias en relación al pensamiento causal. Métodos utilizados.

Llamamos *primer nivel de explicitación* del pensamiento a la información que produce de primera intención un sujeto ante un estímulo, sea este fortuito (por ejemplo, un comentario acerca de la lluvia), o preparado para una situación experimental (por ejemplo,

la contestación a un cuestionario, oral o escrito, y la eventual explicación de la respuesta), sin que se establezca una interacción intencional con un agente que le haga repensar sus comentarios, contestaciones o explicaciones.

- En la mayor parte de las investigaciones revisadas, el tipo de cuestionarios utilizados, las cuestiones y el modo de cuestionar, recuerdan bastante los modos clásicos que se utilizan en los ámbitos docentes. Esto puede implicar que los sujetos ante este tipo de instrumentos se coloquen en situación de "examen" (sobre todo si se trata de sujetos escolarizados o de estudiantes universitarios) y contesten pensando más en reproducir un conocimiento "aprendido" que en decir lo que ellos piensan realmente. En la medida en que esto suceda, sus expresiones dejarán de reflejar su *pensamiento espontáneo* acerca de la cuestión propuesta.

Por todo ello, para cubrir los objetivos de nuestra investigación nos pareció importante plantear un estudio exploratorio que nos proporcionara datos sobre las siguientes cuestiones:

A) *Instrumento* adecuado para colocar al sujeto en situaciones alejadas de un contexto escolar o docente, de manera que se *favorezca* al máximo la *utilización del pensamiento espontáneo*; sin perjuicio de que también pueda utilizar otros tipos de conocimientos, pero sin que se sienta constreñido por ellos.

B) *Metodología* dirigida expresamente a la obtención de *datos de niveles más profundos* que los que se ofrecen en un primer nivel de explicitación.

C) Primera aproximación a cuál sea la *concepción causal espontánea* que manifiestan los sujetos al explicar sistemas físicos dinámicos.

4.1. LA UTILIZACION DE TEBEOS

Como posible instrumento para favorecer la obtención de datos que no fueran respuestas estereotipadas elegimos los tebeos¹ o historietas gráficas.

El tebeo como instrumento para obtener datos sobre las ideas espontáneas de los sujetos acerca del movimiento ha sido validado y utilizado en algunas investigaciones (Bliss y Ogborn 1984, Whitelock 1985). Tiene la ventaja de ser un elemento familiar para los sujetos que suscita pocas asociaciones con el medio escolar. El lenguaje utilizado es

¹ La denominación sugerida por A. Lara, catedrático de Teoría e Historia de la Imagen en la Facultad de Periodismo de la Universidad Complutense de Madrid, en una entrevista realizada por J.L. Rodríguez Dieguez (Cfr. Rodríguez 1988), es la de *tebeo* o historieta gráfica. Nosotros utilizaremos también la de *comic*, por estar muy extendida, sobre todo entre los niños y jóvenes.

fundamentalmente icónico, y sus códigos son muy intuitivos, de manera que son fáciles de entender y no necesitan ninguna introducción o explicación. Los personajes son dinámicos, las acciones rápidas, y el mundo que representan está en continuo movimiento, por lo que resulta fácil encontrar representados en ellos sistemas físicos dinámicos.

Por otra parte, nos interesaba un instrumento que no aislara los sistemas a estudiar, por razones del propio tema de estudio: por ejemplo, si queríamos dar a los sujetos oportunidad de utilizar un pensamiento causal animista, o legal, o mágico, las situaciones deberían presentarse como complejas, para poder suscitar, sin una dirección previa, dichas concepciones. Las situaciones presentadas en otros instrumentos, como los *cuestionarios* (p.e., Wandersee 1986, Haslam y Treagust 1987, Treagust 1988); los *test asociativos* (p.e., Johnson 1964, 1965, Schaeffer 1979, Jungwirth 1988); la *resolución de tareas prácticas* (p.e., entrevistas tipo piagetiano, o Pozo 1985); o incluso las *entrevistas sobre ejemplos*, o *sobre situaciones* (p.e., Osborne y Gilbert 1980, Gilbert, Watts y Osborne 1985, Serrano 1992), se presentan habitualmente aisladas de un entorno natural, y propician una comprensión inconexa de las mismas.

En una **primera aproximación** ensayamos con 51 historietas y con unos 30 sujetos de diversas edades y experiencias: alumnos de 2ª etapa de E.G.B.; jóvenes escolarizados (estudiantes de Bachillerato de Ciencias y de Letras) y sin escolarizar; profesores (maestros de 1ª y 2ª etapa de E.G.B.; profesores de Bachillerato de Ciencias y de Letras); amas de casa y profesionales de diversas materias.

El modo de proceder fue el siguiente: se presentaba al sujeto una historieta y se le pedía que explicara lo que allí sucedía. Se controlaba el *tiempo* y el *tipo de explicación* que el sujeto producía. Después se pasaba a la historieta siguiente.

Ante nuestra sorpresa, en todas las explicaciones que los sujetos ofrecieron espontáneamente, se describían mecanismo de producción, es decir, todos parecían provenir de una *concepción causal generativista*.

Al controlar el tiempo pretendíamos detectar aquellas historietas más fáciles de entender (las que no necesitaban ninguna introducción) y las que explicaban con mayor soltura, ya que nos interesaba obtener, para un mismo tiempo, un máximo de situaciones explicadas. Como **resultado se seleccionaron 9 historietas**, que fueron utilizadas en el estudio exploratorio. Aparecen incluidas en el Apéndice I (4.A)

| Datos con los que se opera | INVESTIGACIONES MAS FRECUENTES | OPERACIONES DEL INVESTIGADOR |
|----------------------------|--|--|
| | <p>Datos "directos" (d) (ejemplo: contestaciones a preguntas)</p> <hr/> <p>Explicación de los datos (explic(d)) (ejemplo: explicar las contestaciones a preguntas)</p> | <p>Descripción</p> <hr/> <p>Explicar (explic.(d)) (inferencias acerca del nivel implícito)</p> |

CUADRO 4.2. Las investigaciones más frecuentes (ej., cuestionarios escritos) manejan datos explícitos próximos a un nivel implícito "superficial" (de fácil acceso en primera intención). Los sujetos no agotan su posibilidad de acceso a su pensamiento implícito acerca del tema considerado.

4.2. ENTREVISTAS TEACHBACK

Como método para la obtención de datos de niveles más profundos que los proporcionados por los sujetos en un primer nivel de explicitación, elegimos las *entrevistas*, particularmente las llevadas a cabo siguiendo el *proceso de teachback*.

En este punto partíamos de los siguientes supuestos:

- Se acepta comunmente que el pensamiento causal espontáneo pertenece al ámbito implícito o privado (Polanyi 1958) del pensamiento de los sujetos. Si esto es así, habrá que conseguir datos lo más próximo posible a este nivel del pensamiento. Los datos proporcionados desde el que hemos llamado "primer nivel de explicitación" no nos parecían suficientes para poder plantear en términos adecuados el problema de la coherencia-incoherencia del pensamiento espontáneo, ya que, según los datos empíricos aportados por las investigaciones revisadas, parece que en ese nivel difícilmente podrá establecerse una conclusión aceptable acerca del tema.
- En muchas ocasiones, los investigadores ante una explicación CE (Conocimiento explícito) por parte de un sujeto, interpretan que CE proviene de un determinado CI (Conocimiento implícito) del sujeto. Pensamos que antes de hacer esta interpretación sería conveniente *preguntar al sujeto* de dónde proviene su explicación CE, es decir, darle la oportunidad de que explicita su CI. De esta manera podría "profundizarse" en el pensamiento implícito del sujeto y acercarse más a lo que él realmente piensa (Cfr. Cuadros 4.2 y 4.3).

| | POSIBLE INVESTIGACION | OPERACIONES DEL INVESTIGADOR |
|------------------------------------|--|---|
| Datos con los que se podría operar | Datos directos (d) | Descripción |
| . | Explicación de los datos (explic. (d)) | Explicar (explic. (d)) |
| . | Explicación de (explic. (d)) (explic. (explic. (d))) | . |
| . | Explic. (explic. (explic. (d))) | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | Explic.(explic.(explic.(...) | Explicar (explic.(explic.(explic..)) (inferencias acerca del nivel implícito) |

CUADRO 4.3. Técnica que permitiría al investigador fijar el nivel de profundización de los datos que obtiene. El límite a la "profundidad" de los datos obtenidos la pondría la dificultad del sujeto para acceder a su pensamiento implícito acerca del tema considerado.

- El esfuerzo de explicitar el pensamiento implícito es considerable. No se puede esperar que en un primer intento, y con pocas palabras, el sujeto exprese todo lo que piensa acerca de un sistema con cierto nivel de complejidad. El "ambiente" que proporcionan las técnicas (orales o escritas) que emparejan pregunta-respuesta no favorece la explicación, que necesita de un ámbito más cercano a lo que es una conversación.

Por las razones anteriores elegimos como método para la obtención de datos la entrevista, particularmente la llevada a cabo incorporando la *técnica teachback*.

El concepto de teachback lo elabora Gordon Pask (1975, 1976a) en el contexto de su Teoría Conversacional (*Conversation Theory*), como un método para consensuar saberes públicos. Como es obvio, antes de llegar a un consenso sobre un saber *público*, éste debe hacerse público, es decir, debe explicitarse. Este método se ha adaptado, y ha demostrado también su eficacia, en la investigación de los conocimientos implícitos de los sujetos. Por la importancia que le damos en nuestro trabajo conviene que situemos brevemente el contexto original teórico de esta técnica.

4.2.1. LA TEORIA CONVERSACIONAL DE G. PASK

Pask desarrolla su teoría en el campo de la cibernética. Aunque su propósito es desarrollar programas de ordenador que enseñen y aprendan, la principal pregunta que pretende contestar con su teoría es cómo es posible el aprendizaje; es decir, *qué condiciones son las mínimas imprescindibles para que un sistema cognitivo* (sea humano (P), o máquina (M)) *pueda aprender*².

Partiendo de la pregunta anterior, Pask desarrolla su concepto de *Conversación*, de la manera siguiente:

- Sea A un sistema que posee una serie de procedimientos π , con los que actúa sobre un dominio Δ (Figura 4.1). Para que este sistema pueda "aprender" algo en su interacción con Δ , necesita obtener información acerca de los resultados de la acción de π sobre Δ (Figura 4.2).

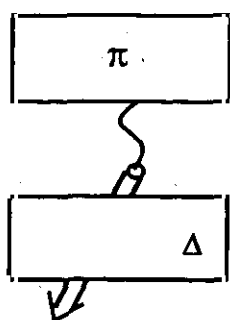


FIGURA 4.1. Sistema A, formado por la colección de procedimientos π que actúan sobre el dominio Δ . La flecha que atraviesa el dominio representa la acción de π sobre Δ (Pask 1975).

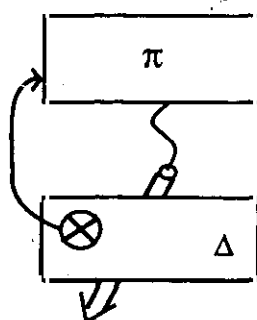


FIGURA 4.2. El sistema A dispone ahora de información sobre los resultados de la acción de π sobre el dominio Δ . Este sistema puede aprender autónomamente, aunque con limitaciones.

El problema del aprendizaje con un sistema como el que muestra la Figura 4.2. es que puede haber informaciones desde Δ para los que π no tenga posibilidades de respuesta, es decir, que caigan fuera del rango de los procedimientos con los que el sistema A está equipado. En este caso, el sistema de la Figura 4.2 no podría aprender autónomamente. Para que esto no suceda, A necesita otra serie de procedimientos, π_1 , que puedan reconstruir los procedimientos con los que actúa sobre Δ , de manera que estos se adapten a cualquier respuesta que le lleguen del dominio Δ . A estos procedimientos adaptativos los llamaremos π_0 .

² La respuesta a esta pregunta es propia de una teoría del conocimiento, o de una epistemología. Y efectivamente, la teoría de Pask participa de estas características. Para una introducción al tema, ver Ogborn y Johnson (1984).

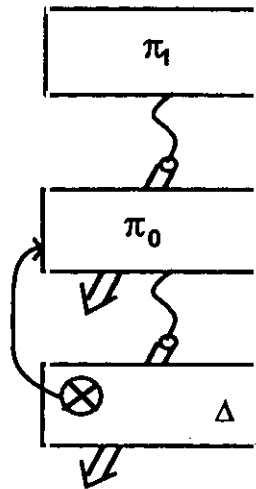


FIGURA 4.3. Los procedimientos π_1 reconstruyen los π_0 de acuerdo con la respuesta que recibe del dominio Δ . Pero π_1 no recibe información acerca de los resultados de su acción sobre π_0 .

La Figura 4.3 muestra cómo sería ahora el sistema A. Este sistema controlaría las reconstrucciones de π_0 , de manera que estos pudieran adaptarse a las respuestas de Δ . Pero lo harían por ensayo y error, ya que π_1 desconoce los resultados de su acción sobre π_0 .

La Figura 4.4 muestra cómo sería el sistema con feedback informativo de π_0 a π_1 . Ahora π_1 puede actuar sobre π_0 evaluando las consecuencias de sus acciones sobre Δ , y por lo tanto la eficacia de su reconstrucción.

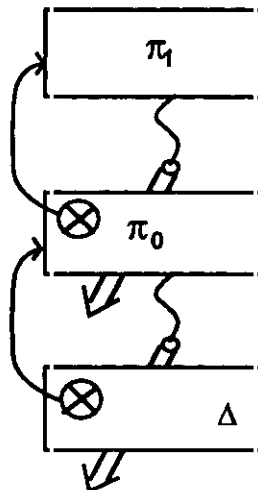


FIGURA 4.4. El sistema A posee feedback informativo desde π_0 a π_1 , de manera que puede reconstruir sus acciones sobre el mismo basándose en esta información. Este sistema está capacitado para un aprendizaje autónomo.

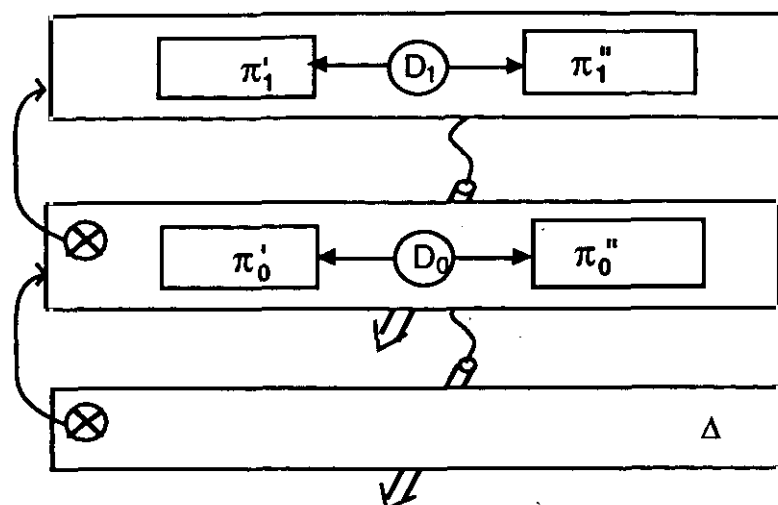


FIGURA 4.5. El sistema A es ahora una Conversación: la mínima entidad que puede conocer y aprender autónomamente y establemente.

El sistema representado en la Figura 4.4, según Pask, posee las mínimas condiciones para poder aprender autónomamente. El aprendizaje en los otros sistemas puede darse, pero por azar. Sólo éste posee información acerca de los cambios que producen los cambios en sus procedimientos, y por lo tanto puede reconstruirse adecuadamente y con autonomía ante una nueva situación.

Otro supuesto teórico que Pask introduce en su teoría es el siguiente: *la supervivencia de un sistema cognitivo implica su autoreproducción*. Es decir, un sistema (sea P ó M) que almacena conocimiento tiene que estar equipado contra accidentes que pudieran dañar a este "almacén". Por ejemplo, es difícil explicar cómo los humanos recuperan información después de un accidente en el que se ha dañado el cerebro. En este caso, la metáfora del "almacén" no es válida. Pask diría que es errónea: el problema no está en cómo se almacena la información, sino en cómo ésta información se *transmite* a medida que el sistema cognitivo cambia y evoluciona. Es el mismo problema que plantea un organismo vivo que crece, cuyas células son reemplazadas por otras semejantes, de manera que el organismo permanece el mismo, pero se está renovando constantemente.

De manera que, según Pask, para que se dé la autonomía y se preserve el aprendizaje, un sistema cognitivo debe poseer unos procesos que permitan su autoreplicación, D, que no es sino una descripción de sí mismo. Y tienen que existir una serie de procesos, π' , tales que aplicados sobre D pueda reproducir una reconstrucción, π'' , de sí mismo. Si esto es así, un sistema cognitivo funciona "diciéndose a sí mismo" (no de manera necesariamente consciente) lo que conoce. La estructura mínima que requiere un

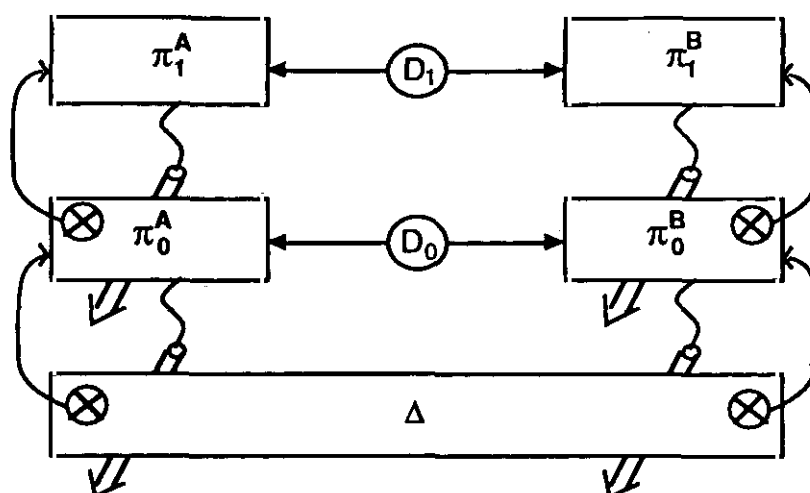


FIGURA 4.6. Las Conversaciones A y B entablan una conversación para compartir conocimiento acerca del dominio Δ .

sistema cognitivo con estas condiciones es la representada en la Figura 4.5. A esta estructura Pask le llama *Conversación*.

"Enseñanza" y "aprendizaje"

La arquitectura de una Conversación (Figura 4.5) es la mínima que un sistema cognitivo tiene que poseer para que pueda aprender y progresar en su aprendizaje autónoma y establemente.

La cuestión siguiente que se plantea Pask es la de cómo un sistema cognitivo (sea un P ó un M) puede replicarse en *otro* sistema cognitivo (sea un P o un M) distinto de sí mismo; es decir, en qué consiste "enseñar".

Para Pask "aprender" y "enseñar" son dos caras de la misma moneda:

- "Existe una teoría de enseñanza y aprendizaje, eso es todo. Los resultados de muchos estudios apoyan este punto de vista, además del sentido común. Así que dogmáticamente (pero con confianza) aprender implica enseñar y enseñar implica aprender. A veces el profesor y el aprendiz responsables del proceso conjunto son obvios (alumno en un pupitre y otra persona con una toga). Otras veces la distinción entre profesor y aprendiz no es tan obvia, y puede resultar sorprendente; pero una vez definidos [los roles], resultan entidades intuitivamente plausibles" (Pask 1975 p. 33).

"Enseñar" o "aprender" describe el proceso de comunicación y entendimiento entre dos Conversaciones, cada Conversación con la misma estructura representada en la Figura 4.5.

Sean A y B dos Conversaciones que quieren ponerse en Comunicación (Figura 4.6).

1.- Lo primero que tienen que hacer es explicitar el tema o el dominio sobre el que van a comunicarse, Δ . Por definición, Δ es un tema *público*, es decir, no pertenece al ámbito implícito o privado.

2.- Si B quiere saber los procesos π_0^A mediante los cuales A opera sobre Δ , necesita que A le proporcione una descripción D_0 de esos procesos. B puede utilizar esa descripción para construir unos procesos π_0^B , tales que los efectos de éstos sobre Δ sean los mismos que los que experimente Δ cuando se le aplican las π_0^A . Si los aplica y los resultados, *a juicio de A*, son los mismos que los obtenidos por π_0^A , se dice que A y B comparten el mismo *concepto*.

Obsérvese que compartir el mismo concepto no significa que necesariamente los procedimientos π_0^A y π_0^B sean los mismos (téngase en cuenta que A puede ser una persona y B puede ser una máquina, o viceversa).

Pask llama a este nivel de diálogo L_0 , o diálogo de bajo nivel (Pask 1975 p. 47).

3.- B puede preguntar a A por qué utiliza los procedimientos π_0^A para actuar sobre Δ . La contestación a esta cuestión requiere que A proporcione a B una descripción D_1 de los procedimientos π_1^A . Como en el caso anterior, B puede utilizar esa descripción D_1 para construir unos procedimientos π_1^B con los que pueda operar para construir (con D_0) los procedimientos π^B , que operan sobre Δ . Si el resultado final sobre Δ es el mismo, *a juicio de A*, que el obtenido cuando opera A, se dice que B *comprende* a A.

Pask llama a este nivel de diálogo L_1 , o diálogo de alto nivel (Pask 1975 p. 47)

Lo mismo que advertimos antes, y por las mismas razones, no necesariamente π_1^A y π_1^B tienen que ser idénticos.

Es evidente que dos sistemas, tales como A y B, pueden establecer una conversación, en el sentido común del término (de ahí la minúscula), a nivel de *conceptos*, o a nivel de *comprensión*. Así, por ejemplo, un niño puede preguntar a un profesor cómo se suma. Si el profesor enseña al niño un procedimiento para sumar, y el niño realiza sumas, de manera que el profesor juzga que lo hace correctamente, niño y profesor *comparten el concepto* suma. Entre profesor y alumno se ha establecido un diálogo a nivel L_0 , según Pask.

Es claro que el niño puede sumar sin comprender por qué se obtienen sumas correctas operando de ese modo. Si pregunta al profesor por qué hay que sumar de esa manera, le está pidiendo la razón por la que funciona el procedimiento para sumar. Si el

profesor se lo explica, y el niño utiliza esa explicación para explicar el procedimiento que utiliza para sumar de manera correcta, *a juicio del profesor*, puede decirse que el niño *ha comprendido* al profesor. En este caso, el diálogo entre profesor y alumno se ha establecido a nivel L_1 , según Pask (Pask 1975 p 47-49).

Los niveles L_0 y L_1 marcan niveles de *acuerdo* entre los participantes de una conversación: en L_0 se llega a un acuerdo acerca de los procedimientos para actuar en un cierto dominio (conocer *cómo*); en el L_1 se llega a un acuerdo acerca de la construcción o reconstrucción de esos procedimientos (conocer *por qué*). Es decir, *en el nivel L_1 se explican las explicaciones que se ofrecen en el nivel L_0* .

El proceso teachback

Al proceso mediante el cual se establecen los acuerdos antes descritos entre los sistemas, le llama Pask *teachback*. Destacamos algunos puntos de la descripción del mismo (Pask 1975 p 241-244):

- El diálogo puede tener lugar entre una fuente humana poseedora del conocimiento (experto, E) y un analista-interrogador (AI) humano.
- El diálogo debe realizarse utilizando un lenguaje natural L^+ no restrictivo.
- El intercambio entre E y AI se establece en un dominio, es decir, en un cuerpo de conocimientos, en el que E es experto.
- El AI es alguien que conoce el propósito del diálogo y conoce reglas de análisis y técnicas para preguntar adecuadamente.
- Se supone que E desea comunicar su conocimiento y que puede hablar libremente sobre el tema en cuestión.

Técnica

- El diálogo es precedido por una frase parecida a ésta: "Enséñame (*teach me*), de todas las maneras posibles, lo que sabes acerca de este tema".
- Con suerte, esto evoca una serie de asociaciones libres sobre la materia en cuestión y de cómo podría representarse, es decir, sobre elementos del tema y las conexiones entre ellos. Sin embargo, poco a poco, el campo se va estrechando (con frecuencia E muestra una irresistible inclinación a centrarse en un sólo modo de enseñar (*teaching*), en vez de utilizar "todas las maneras posibles". Si esto

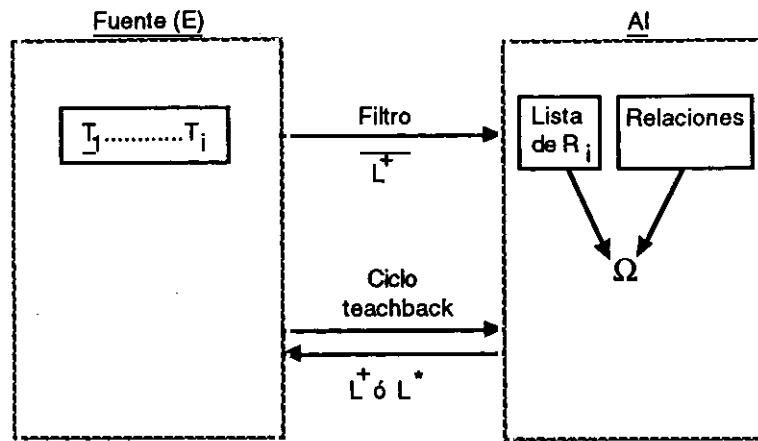


FIGURA 4.7. Representación gráfica de la obtención de consenso en conocimientos públicos, mediante "traducción" y teachback (Pask 1975 p 244).

sucede, AI tiene que preguntar: "¿Hay algún otro modo?", intentando comprobar el conocimiento de E. Puede ser que en alguna ocasión el diálogo se agote. Si esto es así, AI asume que E quiere seguir comunicando lo que sabe, pero que por alguna razón no puede hacerlo en la práctica. En este caso queda a discreción de AI el seguir cuestionando con determinadas técnicas de elicitación del pensamiento implícito.

- No hay límites explícitos en el alcance del conocimiento. Extender el alcance del discurso es raramente imposible, excepto cuando el conocimiento está conectado con habilidades sensomotoras (por su grado de automatización).
- No existe ningún requerimiento de verdad. Por ejemplo, en un tema de química, E puede describir la teoría del flogisto (que es falsa pero perfectamente enseñable).
- Cuando la fuente (E) ha citado algunos subtemas (T_i), AI construye una traducción (L^*) tentativa (R_i) del mismo, así como de las relaciones existentes entre los T_i , en término de un conjunto Ω . Cada cierto tiempo, la traducción del conocimiento existente, Ω , es enseñada (*taught back*) por AI a E, la cual puede o no ser aprobada por E como una explicación verídica de su conocimiento. Si es que no, Ω se modifica, hasta que AI ofrezca una imagen del conocimiento de E. En la Figura 4.7 se representa gráficamente el proceso.

4.2.2. ADAPTACIONES PARA LA ELICITACION DEL PENSAMIENTO IMPLICITO

Pask desarrolla y aplica su teoría en el campo del autoaprendizaje asistido por ordenador (Pask 1976b, 1976c, Entwistle 1978), e incluso, como teoría del aprendizaje, ha comparado sus términos con los de otras teorías (Pask 1984). Pero fuera del ámbito del aprendizaje, sus conceptos teóricos han tenido repercusiones, concretamente en el ámbito de la explicitación del pensamiento implícito en ingeniería del conocimiento y en la investigación didáctica.

En **ingeniería del conocimiento** se ha hecho la transposición, de manera que la comunicación se establece entre el ingeniero del conocimiento (Analista-Interrogador) y el experto (E), cuyo conocimiento se quiere extraer para ser posteriormente codificado e introducido en una máquina (sistema Experto). El proceso *teachback* asegura que la interpretación que hace el interrogador acerca del conocimiento que le comunica el experto es una que éste último considera que refleja fielmente su pensamiento (Shaw 1979, Johnson 1985a, 1985b, Johnson y Johnson 1986, Bliss y Ogborn 1987).

En la **investigación didáctica** una adaptación rigurosa de los conceptos utilizados en la Teoría Conversacional y del *teachback* la realizó Nancy E. Johnson (1983) en su tesis doctoral *Elicitation and representation of Children's arithmetic knowledge*. El paso fundamental consistió en considerar al niño como *experto* y al entrevistador como el que tiene que *aprender* los conocimientos (lo que el alumno conoce) sobre el tema. El niño enseña al entrevistador lo que sabe y el entrevistador sintetiza y devuelve (*teachback*) al niño lo que ha aprendido. Si el niño reconoce en lo que el entrevistador le explica su propio modo de explicar el tema en cuestión, se ha alcanzado el consenso, y se puede proseguir. Si no, el proceso de *teachback* continúa hasta que se alcanza el consenso.

La diferencia entre este tipo de entrevista y otros más clásicos utilizados con anterioridad en la investigación educativa es puesta de manifiesto por el propio Pask (1976a p 19-28, 1976b p 13-15), que señala:

- Una *entrevista vigotskiana* se lleva a cabo entre un *sujeto*, al que se entrevista (entrevistado), y un *experimentador*. La entrevista está mediada por un artefacto físico observable por ambos. El experimentador plantea un problema que el entrevistado debe resolver. Las cuestiones son del tipo *cómo* y *por qué*, y las explicaciones son acerca del funcionamiento del artefacto mediador. Normalmente el diálogo se prepara de manera que el entrevistado no sabe resolver algunas de las cuestiones que le propone el entrevistador. Entonces

pedirá ayuda. Y el entrevistador le proporcionará los datos necesarios para que llegue a contestar la cuestión correctamente. De este modo los participantes pueden alcanzar consensos explícitamente, y un observador externo lo podría registrar.

- En la *entrevista de tipo piagetiano* se emplea también una mediación física, que el entrevistado debe manipular. Pero en este caso, si no se dispone de ciertas claves (por ejemplo, una información acerca de los niveles psicoevolutivos) el consenso no se alcanzará en muchas ocasiones. Y para un observador externo siempre quedará ambiguo, en caso de existir, el consenso alcanzado.
- En una *entrevista teachback* no se da nunca asimetría entre entrevistado y entrevistador; la única mediación imprescindible es el lenguaje; el consenso es inherente al proceso y siempre explícito; y es siempre abierto al escrutinio de un observador exterior.

4.2.3. ADAPTACIONES PARA NUESTRO ESTUDIO EXPLORATORIO

Es fácil concluir, a partir de los supuestos con los que abríamos el Apartado 4.2 y la descripción que hemos hecho de la entrevista teachback, que esta técnica, en principio, parecía la más adecuada para: profundizar en el nivel de los datos y *acercarse por aproximaciones sucesivas al pensamiento implícito* de los sujetos; evitar al máximo una *interpretación* precipitada o prematura de los datos que suministra el sujeto, ya que es posible el establecimiento de consensos acerca del significado de los mismos hasta niveles no limitados en principio; favorecer que la entrevista pueda discurrir en un tono de *conversación* que permita la libre expresión del entrevistado y le facilite la explicitación de su pensamiento espontáneo, sin ningún tipo de restricción, ya que el *control* del diálogo lo lleva tanto el entrevistado como el entrevistador. Esto último se ve favorecido por la falta de requerimiento de "verdad" en el tema tratado, en el sentido de verdad antes expuesto.

En la adaptación realizada por N. E. Johnson se trataba de *conocimiento matemático*, y la *muestra* la constituyeron 8 niños de 12 años. La entrevista no estaba mediatizada por ningún instrumento.

En nuestro caso, se trataba de sujetos de 14 y 18 años; la entrevista estaría mediatizada por historietas gráficas (tebeos) que representarían sistemas físicos dinámicos; y el tema sería relativo a la dinámica elemental. Un aspecto original, en el que nos alejábamos de la finalidad para el que Pask diseña el proceso de teachback y que fue respetado en la investigación de Johnson, es que en nuestro caso no pretendíamos

solamente establecer consensos entrevistado-entrevistador acerca de determinados contenidos; además de esto, pretendíamos *profundizar el nivel* de los datos empíricos obtenidos (explicitaciones del entrevistado) a fin de acercar éstos lo más posible a su pensamiento implícito espontáneo; acortando de esta manera la distancia siempre existente entre datos e interpretación.

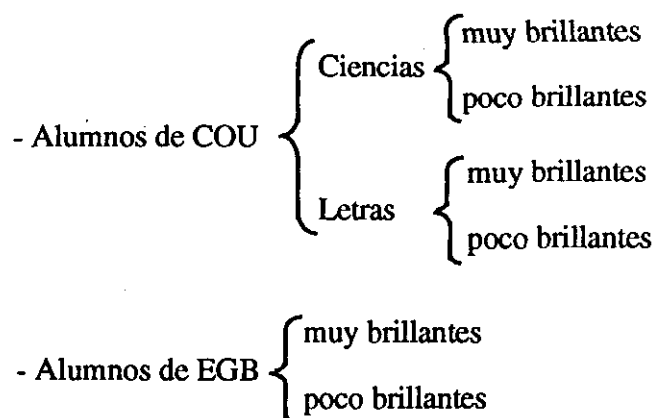
Otro aspecto en el que esperábamos que nuestro trabajo divergiera del de Johnson es que *de hecho* ella sólo consiguió establecer consensos con sus sujetos en el nivel L_0 (empíricamente, los sujetos de su investigación sabían explicar lo que hacían (L_0); pero no sabían explicar su explicación (L_1)); nosotros esperábamos que el consenso con nuestros sujetos podría establecerse tanto en los niveles L_0 como en los L_1 (como efectivamente sucedió).

No conocemos ninguna otra adaptación del proceso teachback, propiamente dicho, a la investigación educativa. Pero la conceptualización de diversos elementos, tal como los explicitaría la Teoría Conversacional, sí están apareciendo en algunas investigaciones. Así Serrano (1992) utiliza análogos a los niveles L_0 y L_1 en el diseño de sus entrevistas; Chi y Bassok (1989) señalan la importancia de explicarse a sí mismo (*self-explanation*; autoduplicación o explicación de sí mismo, diría Pask) para el aprendizaje; Fischer (1993) prescribe que se siga un proceso con requerimientos parecidos al de teachback, al explicar las condiciones óptimas para llevar a cabo observaciones empíricas sobre los procesos de aprendizaje; Hilton (1988b) aconseja que al estudiar el pensamiento implícito de los sujetos, más que seguir la metáfora de Kelly (1955, 1963) "*The man as scientist*", se emplee esta otra: "*The man as conversationalist*"; Sasse (1992) señala un tipo especial de *teachback*, en el que intervienen tres sujetos, como medio óptimo para elicitar el pensamiento implícito de los individuos.

4.3. APLICACION A UNA MUESTRA

4.3.1. SUJETOS ENTREVISTADOS

En un primer diseño de la muestra con la que queríamos realizar la investigación principal, se consideró la conveniencia de contar con diferentes grupos de sujetos para establecer comparaciones en nuestros resultados. En principio pensamos en los siguientes:



Con lo cual parecía razonable plantear el estudio exploratorio con sujetos de los grupos extremos: alumnos de COU de Ciencias muy brillantes y alumnos de 8º de EGB poco brillantes. El término "brillante" es ambiguo. De hecho, pedimos a dos profesoras que nos proporcionaran alumnos que, a su juicio, fueran muy brillantes, con independencia de las notas que sacaran³ -caso de los alumnos de COU de Ciencias-; y a su juicio poco brillantes -caso de los alumnos de 8º de EGB- con independencia de la notas que sacaran.

El centro de COU acogía alumnos de clase media (la mayor parte de los padres ejercían profesiones liberales), era de carácter privado y estaba situado en una zona céntrica de Madrid; el de EGB era de carácter público, situado en la periferia de Madrid, y acogía a alumnos de clase baja (la mayor parte de los padres obreros poco cualificados y algunos en paro). Fueron elegidos en razón de la facilidad ofrecida por los profesores y los directores de los centros para realizar nuestro trabajo. Los alumnos se ofrecieron voluntariamente, y según sus profesoras, se presentaron en mayor número del que necesitábamos para nuestra exploración.

Trabajamos con 5 alumnos de COU y 5 de 8º de EGB.

Los alumnos de EGB habían tenido una breve introducción a la dinámica newtoniana en 7º curso (fuerzas, vectores, composición de fuerzas, 1ª y 2ª ley de Newton, Gravitación Universal, peso, gravedad, ...). También se les había introducido en los conceptos de trabajo y de rozamiento de manera elemental, y habían estudiado los tipos de energía (al menos, la cinética y potencial) y la ley de conservación de la misma. Los de COU habían tenido introducciones extensas a la dinámica newtoniana en 2º y 3º de bachillerato, y ya habían estudiado este tema también en COU, con lo cual considerábamos que tenían la información máxima a nivel de "ciencia escolar".

³ A pesar de esta advertencia, al ver con posterioridad los expedientes de estos alumnos, observamos que la nota media de todos ellos en las asignaturas de Ciencias y Matemáticas en los cursos de Bachillerato anteriores era de sobresaliente.

| CUESTIONES ABIERTAS | ASPECTO CAUSAL AL QUE SE DIRIGEN |
|---|--|
| 1.- ¿Qué es lo que hace que ...M...(movimiento considerado) suceda? → X (causa aducida) | } <i>Naturaleza causal</i> |
| 1a.- ¿Podrías decirme algo más de ... X ...? | |
| 2.- ¿Existe alguna cosa más que haga que ... M ... suceda? → Y; Z; Z+X; ... etc. | } <i>Pluralidad causal</i> |
| 2.- ¿Podrías decirme algo más de ... Y; Z; ... etc? | |
| 3.- ¿Crees que siempre que aparezca ... X; Y; ... etc, se tiene que dar ...M...? | } <i>Causalidad/legalidad</i> (no considerado en el cuestionario de Thomas) |
| 3a.- ¿Qué ocurriría si X; Y; ... etc, no actuaran? | |
| 4.- De todos los modos que has dicho, ¿cuál te parece que tiene más posibilidades de hacer que ...M ... suceda? | } <i>Probabilidad causal</i> (prototipos: no considerados en el cuestionario de Thomas) |
| 5.- ¿Qué te hace pensar todo esto? | |
| 6.- ¿Cómo has llegado a saber todo esto? | } <i>Fuentes de información</i> |

CUADRO 4. 4. Tipos de cuestiones y finalidad de las mismas. El cuestionario se adaptó para tres circunstancias del movimiento: comienzo, mantenimiento y cese (parada).

4.3.2. ESQUEMA PARA LA ENTREVISTA

Para la entrevista preparamos un esquema semiestructurado de preguntas abiertas, adaptado de un cuestionario sobre causalidad física (*Physical Causality Test Battery*) diseñado por Thomas (1981) en su tesis doctoral. Cuidamos especialmente las palabras utilizadas al preguntar, teniendo en cuenta que las cuestiones del tipo "qué hace ..." son preferibles a las del tipo "por qué" y "cómo" para evitar contestaciones sesgadas cuando se trata de establecer la *naturaleza* de las causas que los sujetos mencionan (Piaget 1923, 1926, Palfrey 1971, Berzonsky 1971). En el Cuadro 4.4 aparece el esquema de las cuestiones, con su correspondiente justificación.

El esquema se repetía, adaptado a tres aspectos diferenciados en el movimiento del sistema examinado: Parte I: comienzo; Parte II: mantenimiento; Parte III: cese (parada). En el Apéndice I (4.B) aparece el cuestionario completo.

4.3.3. ADMINISTRACION

El primer punto para el establecimiento de una conversación siguiendo el proceso teachback era establecer *el dominio* de la misma. Esto se hizo de la manera siguiente:

El alumno ya sabía, por haberlo referido la profesora al solicitar voluntarios, que una profesora que estaba haciendo una investigación quería hablar con ellos. De manera que, una vez presentados, la entrevistadora concertaba los términos y el tema de la entrevista de forma aproximada a la siguiente:

1) "Como te han dicho, estoy haciendo una investigación para averiguar cómo se puede enseñar de la mejor manera posible. A veces los profesores creen que, cuando empiezan a explicar un tema, vosotros no sabéis nada acerca de él. Sin embargo, a mí me parece que de muchas cosas de las que os habla el profesor ya vosotros tenéis muchas ideas. ¿No sería bueno que el profesor ya conociera estas ideas antes de empezar un tema, y comenzara a explicar partiendo de lo que vosotros ya sabéis? Esto es lo que yo estoy investigando: las ideas que vosotros teneis antes de que el profesor empiece a explicar.

2) De manera que esto no es un examen para ver cuánto has aprendido en clase. Si hubiera querido saber esto se lo habría preguntado a tu profesor, o hubiera visto tus notas, o tus exámenes. Lo que quiero es que me expliques con tus propias palabras lo que piensas sobre algunas cosas que te voy a preguntar. Por supuesto, si lo que has aprendido en clase te sirve, pues también lo puedes utilizar, si quieres, en la explicación. Pero lo que más me interesa es lo que tú piensas sobre el tema.

3) Vamos a hablar de movimientos muy sencillos. Te voy a enseñar unos tebeos donde aparecen movimientos y te voy a pedir que me los expliques. Yo soy profesora de Física, por lo tanto no es que yo no sepa cómo se pueden explicar; pero lo que quiero es que tú me lo expliques como si yo no supiera nada. Imagínate que soy un niño más pequeño que tú, o una persona que no sabe nada de esto, y que me quieres explicar esos movimientos: ¿cómo lo harías?

4) Como lo que me interesa es conocer exactamente lo que piensas, cuando algo no entienda o no me quede claro te preguntaré. A veces te haré preguntas que a tí te parecerán obvias, pero que como yo no quiero imaginarme lo que sabes, o adivinarlo, aunque yo crea que lo he entendido, te lo preguntaré para asegurarme. De vez en cuando te haré un

resumen de lo que voy entendiendo, a ver si es lo mismo que tú quieres decir. Si no es así, me dices en qué estás de acuerdo y en qué no. Como veremos más de un movimiento, no te extrañe que te pregunte las mismas cosas en relación a ellos, porque a lo mejor piensas de distinta manera, o quizás no, y esto a mí me interesa saberlo.

5) Si no te parece mal, voy a grabar nuestra conversación. Esto es porque si no lo hago, después me resultará imposible recordar todo lo que me has dicho. También tomaré algunas notas de lo que vayas diciendo, para seguir mejor el hilo de nuestra conversación, y poder volver sobre cosas que nos parezcan interesantes.

6) Posiblemente, en algún momento te pediré que hagas algún dibujo, para entender mejor lo que quieres decir, y porque también te puede ayudar en algún momento a expresar lo que piensas. Aquí tienes folios y rotuladores, que puedes utilizar cuando lo necesites.

7) La entrevista es anónima. Te llamarás P.- ... (rotulación de la cinta utilizada para grabar, que se mostraba en este momento al alumno), y este nombre sólo lo sabrás tú. De modo que puedes expresarte con plena libertad".

8) Después de esto se mostraba al sujeto una de las historietas y se le pedía que la explicara con una frase parecida a ésta:

- "Mira esta historieta. Cuéntame lo que está pasando ahí".

En este momento se conectaba el magnetofón y empezaba la grabación.

El alumno ofrecía una explicación espontánea de todo lo que estaba pasando en la historieta (contextualización).

9) A continuación se señalaban algunas viñetas en las que se destacaba el sistema físico cuyo movimiento queríamos que nos explicara (focalización), y pedíamos al sujeto una explicación sobre el mismo.

10) Después de esto, se le pedía que realizara un dibujo del sistema, y el sujeto lo representaba gráficamente. Esto último proporcionaba cierta idea sobre su percepción del mismo y sobre los elementos que el sujeto posiblemente consideraba como más importantes.

11) Con los datos explicitados hasta aquí espontáneamente, empezaba el proceso de teachback.

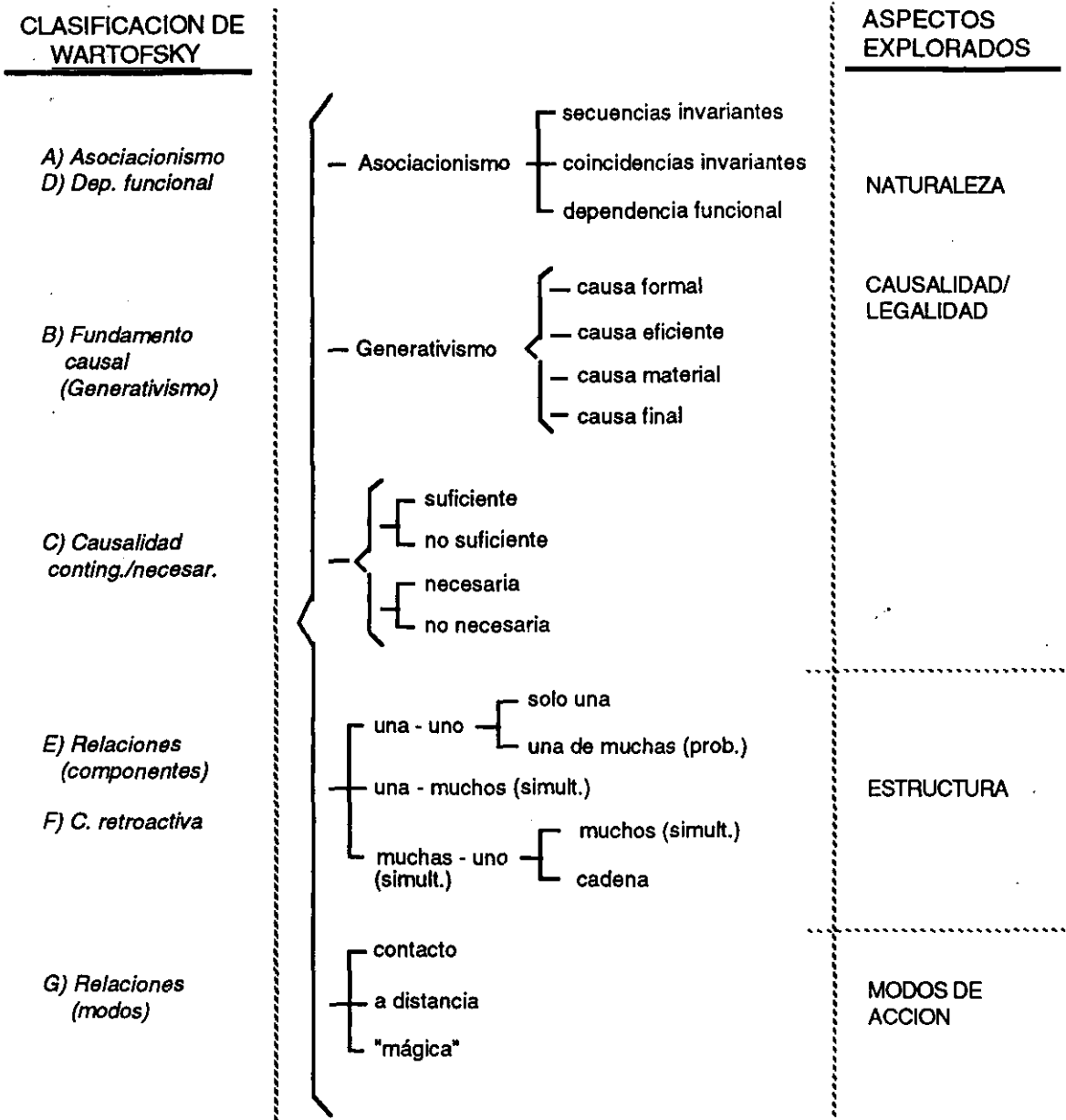


FIGURA 4.8. Red Sistémica Estratégica construida a partir de la clasificación de Wartofsky (1968). En la figura se destaca la relación de las categorías de la red con esta clasificación, así como los principales aspectos causales que se quieren poner de manifiesto con las mismas.

La explicación del sistema proseguía hasta que el entrevistador juzgaba que el sujeto, por las razones que fuere, ya parecía haber alcanzado un límite en la explicitación de su pensamiento.

Alcanzado este punto, el entrevistador presentaba otra historieta al sujeto, y se repetía el proceso, a partir del punto 8.

12) El tiempo límite de duración de la entrevista se fijó en 60 minutos.

Las entrevistas se realizaron en el recinto escolar (no fue posible de otra manera, por la dificultad para ponerse en contacto con los alumnos) pero la mayoría de ellas se desarrollaron en lugares distintos a las aulas en las que recibían las clases.

Las grabaciones se transcribieron, para su posterior análisis.

Sin excepción, los alumnos aceptaron con agrado la propuesta y comprendieron el *dominio* de la conversación. Se les notaba divertidos cuando les mostrábamos las historietas de los tebeos y les proponíamos un seudónimo. El hecho de que la conversación se grabara no pareció afectarles en su espontaneidad.

4.4. ANALISIS DE LAS ENTREVISTAS

Para el análisis de los protocolos producidos habíamos preparado una *red sistémica estratégica* (Bliss y otros 1983, Koulaidis 1988, Law 1990, Serrano 1992), basándonos en el estudio y clasificación que hace Wartofsky (1968) al analizar el tema causal a lo largo de la historia de la ciencia. La Figura 4.8 muestra la red, así como la relación entre sus categorías, los agrupamientos de Wartofsky, y los aspectos causales que se ponen de manifiesto con dichas categorías.

Partiendo de estas relaciones como de un heurístico (las redes estratégicas orientan la búsqueda, pero no determinan los resultados), preparamos una plantilla en forma de tabla de doble entrada, tal como la que aparece en el Apéndice I (4.C), para el análisis de los datos. Las categorías de análisis eran muy amplias (*Naturaleza-causalidad/legalidad; tipos* (o modos de acción); *estructura*), y sus definiciones venían dadas por sus relaciones con la red estratégica y con la clasificación de Wartofsky. A éstas se añadieron otras columnas para recoger datos que nos parecieran importantes en vista al estudio principal: *Elementos y nombres asignados*, que podían dar una idea de los campos conceptuales y perceptivos que manejaban los sujetos al explicar el movimiento de los sistemas; *Palabras científicas sin sentido científico*, que denotaban informaciones sin asimilar; *Notas*, en donde se señalaban aspectos de las transcripciones que no quedaban encajados en las categorías de análisis contempladas; *Carencias*, que recogía los fallos técnicos que se cometían en la entrevista.

Con los datos de cada sujeto recogidos y clasificados en esta plantilla, se rellenaba y completaba en su caso la red sistémica, a fin de obtener el *paradigma* de cada sujeto en relación a su concepción causal espontánea.

4.5 RESULTADOS

4.5.1. EN RELACION A LA UTILIZACION DE TEBEOS

1) *Los tebeos se mostraron un instrumento idóneo* para situar el tema de la entrevista fuera del contexto escolar, facilitando que los sujetos expresaran sus propias ideas acerca del comportamiento de los sistemas. Aún en el caso de los alumnos mayores, con un *amplio vocabulario* en el tema de la dinámica y un *buen aprendizaje* del mismo (téngase en cuenta lo dicho anteriormente acerca de los expedientes de estos alumnos) explicaron siempre los comportamientos de los sistemas aplicando sus propias ideas, aunque en muchos casos utilizaron el vocabulario aprendido de la ciencia escolar.

2) *El número de historietas explicadas por los sujetos fue muy inferior al propuesto* en el tiempo asignado: una media de 3,9 en cada entrevista. De hecho los alumnos de EGB eran los responsables de la subida de la media, ya que sólo un alumno de COU explicó 4 historietas completas, y algunos sólo comentaron 2.

El resultado es explicable, ya que los alumnos mayores poseían más información sobre el tema, y el proceso de teachback tenía, por tanto, más posibilidades de alargarse en cada historieta.

3) No controlamos la *secuencia de presentación* de las historietas, de manera que, aunque se dieron coincidencias, no todos los sujetos comentaron el funcionamiento de los mismos sistemas. Este era un punto que había que tener en cuenta en el diseño del estudio principal.

4.5.2. EN RELACION A LA ENTREVISTA TEACHBACK

La adaptación de la *técnica teachback* utilizada en nuestras entrevistas resultó muy eficaz para profundizar el nivel de los conocimientos explicitados por los sujetos. A pesar de lo ficticio de la situación (el alumno el *experto* y el profesor el *novato*), esto no parecía afectar a la espontaneidad de sus explicaciones. De echo, aún los más jóvenes (poco "brillantes", a juicio de sus profesores) se expresaron con naturalidad y comentaron que se lo habían pasado muy bien en la entrevista.

El *tiempo* empleado en los comentarios a cada sistema era sensiblemente mayor en los alumnos de COU que en los alumnos de EGB. Como se apuntó antes, éste resultado no es sorprendente, ya que los alumnos mayores tenían más información. Y posiblemente (ya que eran "brillantes", a juicio de sus profesores) también podían tener más facilidad para expresarse verbalmente.

La realización de *dibujos* por parte de los entrevistados resultó muy eficaz durante el proceso de teachback, tanto para ayudar a los sujetos a expresar su pensamiento, como para apoyar el proceso mismo.

La entrevista dejaba a los sujetos con la impresión de haber realizado un gran *esfuerzo de pensar*. Un comentario común era el de "*no haber pensado nunca así*", y el de que "*nadie les había preguntado nunca esas cosas*". Por parte de la entrevistadora, el *esfuerzo de atención* requerido para mantener la conversación dentro de los términos marcados por el proceso teachback le llevó pronto a la conclusión de que no debía realizar más de dos entrevistas seguidas.

4.5.3. EN RELACION A LA CONCEPCION CAUSAL ESPONTANEA

A pesar de las dificultades encontradas al categorizar los datos de las entrevistas, a lo que nos referiremos después, las explicitaciones de los sujetos encajaban con naturalidad en:

- *Una concepción causal espontánea de naturaleza ontológica*. Es decir, el modo de expresarse los sujetos, el tipo de explicaciones que suministran, los mecanismos de acción que describen, parece responder a una visión del mundo, en relación al desarrollo de los acontecimientos físicos del mismo, que responde a lo que Bunge caracteriza como *causalismo* (Cfr. Cap. 1), es decir, donde las causas *generan* sus correspondientes efectos.

Nos llamó la atención particularmente este aspecto en los alumnos mayores: sus enunciados legales se limitaron casi exclusivamente al de la segunda ley de Newton, $F=m.a$, aunque la interpretación de esta ley era bastante idiosincrática. Ninguno habló de la conservación de energía; sólo una alumna mencionó la ley de la conservación de la cantidad de movimiento ($m.v=cte$), pero hizo una interpretación causal de la misma: la velocidad era la *causa* que *generaba* el movimiento⁴.

- *Una estructura causal no exclusivamente lineal*. Aún los alumnos más jóvenes consideraron que podía actuar más de una causa para producir un efecto; y utilizaron con naturalidad el concepto de probabilidad al caracterizar los agentes cuyas acciones producían esos efectos.

⁴ El dato no es sorprendente. Se trata de lo que a Saltiel (1978) caracterizara como *velocidad propia* de un objeto (Cfr. Cap. 2).

espontáneas de los sistemas físicos, representados en historietas elegidas al propósito.

La utilización de este material no ha sido impedimento para que los sujetos emplearan en sus explicaciones términos adquiridos en su aprendizaje escolar siempre que lo estimaron conveniente.

- B) La adaptación del proceso de teachback a la técnica de la entrevista ha permitido recoger datos de niveles más profundos que los que normalmente se recogen en lo que llamábamos *primer nivel de explicitación*.

De hecho el límite de las explicaciones (que podríamos llamar límite de la profundización de los mismos) lo marcaba el mismo sujeto, cuando explicitaba que no sabía decir más sobre el tema, o la misma entrevistadora, cuando se daba cuenta que ya no se añadía nada nuevo a las explicaciones. Y siempre los sujetos añadieron muchísimos más datos que los explicitados espontáneamente antes de comenzar el proceso de teachback (primer nivel de explicitación).

- C) En primera aproximación, los sujetos parecen manejar en sus explicaciones una concepción causal espontánea de naturaleza *productiva*. Es decir, parecen poseer una visión *causalista* del comportamiento de los sistemas físicos dinámicos que observan.
- D) Las categorías de análisis previstas se mostraron *insuficientes* para dar cuenta de los datos recogidos en los protocolos, debido principalmente a la *naturaleza dinámica* de los mismos.
- E) Analizados los protocolos de las entrevistas con categorías extraídas del *modelo mental mecánico* de de Kleer y Brown (1981, 1983, 1984), los datos encajaron en las mismas sin dejar residuos. Por lo que consideramos estas categorías aptas para utilizar en el estudio principal.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y lo visto en este Capítulo, emprendimos el diseño y realización del estudio principal.

5. ESTUDIO PRINCIPAL

5.1. DECISIONES ACERCA DEL DISEÑO

Los resultados del estudio exploratorio sirvieron de punto de partida para plantear el diseño del estudio principal, motivándonos a tomar las decisiones que se explicitan a continuación.

5.1.1. HISTORIETAS UTILIZADAS

Número de historietas y adaptaciones realizadas

Como se dijo anteriormente, en el estudio exploratorio se ensayaron 9 historietas y en el tiempo asignado a la entrevista (60 minutos) los sujetos comentaron una media de 3,9. En vista de este resultado, *decidimos trabajar sólo con 3 historietas*. En principio, las elegimos porque: a) los sujetos las explicaron con soltura, sin que ninguno de ellos necesitara introducción por nuestra parte; b) representaban sistemas físicos dinámicos muy simples; c) los movimientos de los sistemas eran todos familiares para los sujetos.

Las historietas seleccionadas fueron las que aparecen con los números 13, 18 y 42 en el Apéndice I(4.C), a las cuales se les hicieron las modificaciones siguientes:


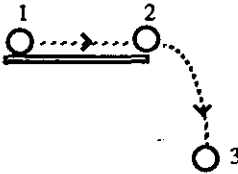
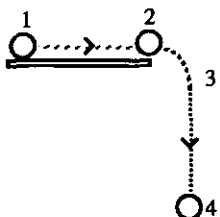
- Las 13 y 42 fueron simplificadas, sin modificar sus contextos, a fin de que los sujetos emplearan el menor tiempo posible en entender de qué se trataba y en ofrecer una explicación de las mismas.

- En la 18 se modificó la viñeta 4, ya que en el estudio exploratorio casi todos los sujetos explicaron que la flecha describía un arco antes de empezar a caer, y esta explicación podía estar inducida por el dibujo.


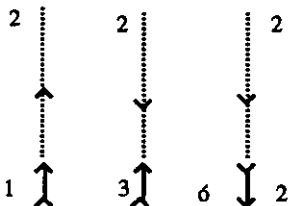
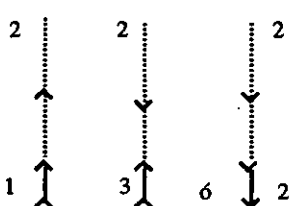
Las historietas tal como fueron utilizadas en el estudio principal aparecen en el Apéndice II(5.A), con los nombres *Comic A*, *Comic B* y *Comic C*.

Sistemas físicos dinámicos. Tipos de movimiento

Los *sistemas físicos dinámicos* que aparecían representados en éstos comics, eran los que se muestran esquematizados en los Cuadros 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4. En ellos se destacan

| COMIC A SISTEMA A |  Posición inicial A0 | |
|--|---|--|
| MOVIMIENTO | SIN ROZAMIENTO NI AIRE  | CON ROZAMIENTO Y AIRE EN REPOSO  |
| ALGUNAS CARACTERISTICAS ELEMENTALES DE LA DESCRIPCION CUALITATIVA DEL MOVIMIENTO | <p>1 - 2</p> <p>A1</p> <ul style="list-style-type: none"> • mov. horizontal • $v = cte$ • ausencia de fuerzas en la dirección del movimiento <p>2 - 3</p> <p>A2</p> <ul style="list-style-type: none"> • mov. parabólico de caída, con ángulo de salida = 0 • $V_h = cte$ • V_v creciente • $F_g = cte$, en el sentido de V_v | <p>1 - 2</p> <p>A1</p> <ul style="list-style-type: none"> • mov. horizontal • v decreciente, que en algún momento puede ser = 0 • $F_{rt} = cte$, en sentido contrario al mov. • $F_{ra} = cte$, en sentido contrario al movimiento <p>2 - 3</p> <p>A2.1</p> <ul style="list-style-type: none"> • mov. curvo de caída • V_h decreciente • V_v creciente • $F_{ra} = cte$, en sentido contrario a V_v y a V_h • $F_g = cte$, en sentido de V_v <p>3 - 4</p> <p>A2.2</p> <ul style="list-style-type: none"> • mov. de caída vertical • $V_h = 0$ • $F_{ra} = cte$, en sentido contrario al movimiento • $F_g = cte$, en sentido del mov. |
| ALGUNAS EXPRESIONES LEGALES EN SU FORMA MAS ELEMENTAL QUE PODRIAN RELACIONARSE CON EL MOVIMIENTO | <p>Conocidas en EGB y COU</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Leyes de Newton: <ul style="list-style-type: none"> • $m \cdot v = cte$ • $F = m \cdot a$ • $F = -F$ ♦ Ley de gravitación universal: $F = G \frac{M \cdot m}{R^2}$ <p>($F_g = m \cdot g$; $P = m \cdot g$)</p> <p>$g = cte$ (distancias pequeñas)</p> ♦ Composición de vectores ♦ $T = F \cdot d$ | <p>Conocidas en EGB y COU</p> <p>Conocidas en COU</p> <p>Las mismas, MAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $F = \mu \cdot N$ • $F_{re} = \mu_e \cdot N$ • $F_{rd} = \mu_c \cdot N$ |

CUADRO 5.1 . CLAVE: v = velocidad; cte = constante; mov. = movimiento; V_h = velocidad horizontal; V_v = velocidad vertical; F = fuerza; F_g = fuerza gravitatoria; F_r = fuerza de rozamiento; μ = coeficiente de rozamiento; F_{rt} = fuerza de rozamiento bola-tabla; F_{ra} = fuerza de rozamiento bola-aire; P = peso; m = masa; g = aceleración de la gravedad; d = distancia; μ_e = coeficiente de rozamiento estático; μ_c = coeficiente de rozamiento cinético; N = fuerza normal a la superficie de rozamiento. T = trabajo.


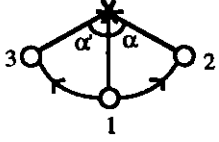
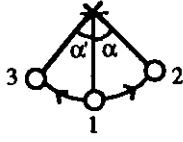
| COMIC B SISTEMA B |  Posición inicial B0 | |
|---|--|--|
| MOVIMIENTO | SIN ROZAMIENTO NI AIRE  | CON ROZAMIENTO Y AIRE EN REPOSO  |
| ALGUNAS CARACTERISTICAS ELEMENTALES DE LA DESCRIPCION CUALITATIVA DEL MOVIMIENTO | 1 - 2 • mov. vertical (subida) B1 • v decreciente • $F_g = cte$, opuesta a v 2 • parada instantánea B'0 • $v = 0$ • $F_g = cte$, vertical hacia abajo 2 - 3 • mov vertical (bajada) B2 • v creciente • $F_g = cte$, en sentido de v | 1 - 2 • mov vertical (subida) B1 • v decreciente • $F_g = cte$, opuesta a v • $F_{ra} = cte$, opuesta a v 2 • parada instantánea B'0 • $v = 0$ • $F_g = cte$, vertical hacia abajo 2 - 3 • mov vertical (bajada) B2 • v creciente • $F_g = cte$, en sentido de v • $F_{ra} = cte$, opuesta a v |
| ALGUNAS EXPRESIONES LEGALES ELEMENTALES QUE PODRIAN RELACIONARSE CON EL MOVIMIENTO | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 2px;">Conocidas en EGB y COU</div> <div style="margin-left: 10px;"> <p><u>Las mismas que el Sistema A.</u></p> <p><u>ADEMAS:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Energía Cinética $E = 1/2 m \cdot v$ ♦ Energía potencial $E = m g h$ ♦ Ley de la conservación de la energía </div> </div> | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 2px;">Conocidas en EGB y COU</div> <div style="margin-left: 10px;"> <p><u>Las mismas</u></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); display: inline-block;">Conocidas en COU</div> </div> </div> |

CUADRO 5.2. CLAVE: Las mismas que el Sistema A, más: E = energía; h = altura.


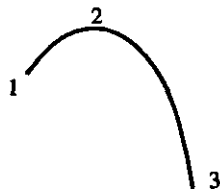
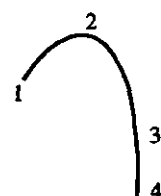
también los tipos de movimientos realizados por los Sistemas¹, así como algunas descripciones cualitativas que podrían hacerse de los mismos. Se señalan algunas expresiones legales elementales que podrían relacionarse con los respectivos movimientos; casi todas ellas, en sus formas más simples, conocidas ya por los alumnos de 8° de EGB.

Los *movimientos* de los distintos Sistemas presentan a la vez características diferentes y complementarias: *movimiento horizontal uniforme* (Sistema A); *parabólico* (Sistema A, con ángulo de salida = 0; Sistema C parte D, con ángulo de salida mayor que cero); *vertical*

¹ Cuando nos referimos a los sistemas físicos dinámicos representados en los Comics A, B y C, lo notaremos con mayúsculas, a partir de ahora. Así, Sistema A, Sistema B, Sistema C.

| COMIC C SISTEMA C |  Posición inicial C0 | |
|--|--|---|
| PARTE C MOVIMIENTO | SIN ROZAMIENTO NI AIRE  $\alpha = \alpha' = \text{cte.}$ | CON ROZAMIENTO Y AIRE EN REPOSO  El ángulo con la vertical disminuye con el tiempo, hasta que $\alpha = 0$ Posición final C0(F) $\alpha > \alpha' > \dots$ |
| ALGUNAS CARACTERISTICAS ELEMENTALES DE LA DESCRIPCION CUALITATIVA DEL MOVIMIENTO | <div>1 - 2</div> <div>C1</div> <ul style="list-style-type: none"> • mov. circular de subida • v decreciente • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov. <div>2</div> <div>C'0</div> <ul style="list-style-type: none"> • parada instantánea • v = 0 • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov <div>2 - 3</div> <div>C2</div> <ul style="list-style-type: none"> • mov circular debajada • v creciente • T de la cuerda • Fg = cte, favorece el mov <div>1</div> <div>C''0</div> <ul style="list-style-type: none"> • v máxima • T cuerda • Fg = cte <div>1 - 3</div> <div>C1</div> <ul style="list-style-type: none"> • mov circular de subida • v decreciente • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov <div>3</div> <div>C'''0</div> <ul style="list-style-type: none"> • parada instantánea • v = 0 • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov <div>C2 igual a C2, ETC</div> | <div>1 - 2</div> <div>C1</div> <ul style="list-style-type: none"> • mov circular de subida • v decreciente • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov • Fra = cte, dificulta el mov • Frej = cte, dificulta el mov <div>2</div> <div>C'0</div> <ul style="list-style-type: none"> • parada instantánea • v = 0 • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov • Fra = cte, dificulta el mov • Frej = cte, dificulta el mov <div>2 - 3</div> <div>C1</div> <ul style="list-style-type: none"> • mov circular debajada • v creciente • T de la cuerda • Fg = cte, favorece el mov • Fra = cte, dificulta el mov • Frej = cte, dificulta el mov <div>1</div> <div>C''0</div> <ul style="list-style-type: none"> • v máxima • T cuerda • Fg = cte • Fra dificulta el mov • Frej dificulta el mov <div>1 - 3</div> <div>C1</div> <ul style="list-style-type: none"> • mov circular de subida • v decreciente • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov • Fra = cte, dificulta el mov • Frej = cte, dificulta el mov <div>3</div> <div>C'''0</div> <ul style="list-style-type: none"> • parada instantánea • v = 0 • T de la cuerda • Fg = cte, dificulta el mov • Fra = cte, dificulta el mov • Frej = cte, dificulta el mov <div>ETC</div> |
| ALGUNAS EXPRESIONES LEGALES ELEMENTALES QUE PODRIAN RELACIONARSE CON EL MOVIMIENTO | <div>Conocidas en EGB y COU</div> <div>Las mismas que el Sistema A y B</div> <div>Conocidas en COU</div> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Fuerza restauradora del péndulo: $F = m \cdot \text{sen } \alpha$ | <div>Conocidas en EGB y COU</div> <div>Las mismas</div> <div>Conocidas en COU</div> |

CUADRO 5.3 . CLAVE: Las mismas que los Sistemas A y B, más: T = tensión de la cuerda; Frej = fuerza de rozamiento cuerda-eje del columpio.

| | | | |
|--|---|--|--|
| COMIC C SISTEMA C | |  Posición inicial D0 | |
| PARTE D MOVIMIENTO | SIN ROZAMIENTO NI AIRE  | CON ROZAMIENTO Y AIRE EN REPOSO  | |
| ALGUNAS CARACTERISTICAS ELEMENTALES DE LA DESCRIPCION CUALITATIVA DEL MOVIMIENTO | <p>1 - 2 - 3 • mov parabólico con ángulo de salida $\alpha \neq 0$</p> <p>1 - 2 • $V_h = cte$ D1 • V_v decreciente • $F_g = cte$, de sentido contrario a V_v</p> <p>2 • $V_h = cte$ D'0 • $V_v = 0$ • $F_g = cte$, vertical hacia abajo</p> <p>2 - 3 • $V_h = cte$ D2 • V_v creciente • $F_g = cte$, del mismo sentido que V_v</p> | <p>1 - 2 • mov curvo ascendente D1 • V_h decreciente • V_v decreciente • $F_g = cte$, de sentido contrario a V_v • $F_{ra} = cte$, de sentido contrario a V_v</p> <p>2 • V_h decreciente D'0 • $V_v = 0$ • $F_g = cte$, vertical hacia abajo • $F_{ra} = cte$, de sentido contrario a V_v</p> <p>2 - 3 • V_h decreciente D2.1 • V_v creciente • $F_g = cte$, del mismo sentido que V_v • $F_{ra} = cte$, de sentido contrario a V_v</p> <p>3 - 4 • $V_h = 0$ D2.2 • V_v creciente • $F_g = cte$, del mismo sentido que V_v • $F_{ra} = cte$, de sentido contrario a V_v</p> | |
| ALGUNAS EXPRESIONES LEGALES ELEMENTALES QUE PODRIAN RELACIONARSE CON EL MOVIMIENTO | <div>Conocidas en EGB y COU</div> <div>Conocidas en COU</div> <p><u>Las mismas que el Sistema A y B</u></p> <p>Composición de movimientos rectilíneos uniformes: $x = v_0 t$ $y = 1/2 g t^2$ $s = v_0 t + 1/2 g t^2$ (movimiento parabólico)</p> | <div>Conocidas en EGB y COU</div> <div>Conocidas en COU</div> <p><u>Las mismas</u></p> | |

CUADRO 5.4 . CLAVE: Las mismas que los Sistemas A y B.

hacia arriba, uniformemente retardado (Sistema B); vertical hacia abajo, uniformemente acelerado (Sistema B); movimiento pendular (Sistema C parte C).

Si se consideran rozamientos: *movimiento horizontal, uniformemente retardado* (Sistema A); *movimiento curvo* (Sistemas A y C parte D); *vertical hacia arriba,*

uniformemente retardado (Sistema B); *vertical hacia abajo, uniformemente acelerado* (Sistemas A, B y C parte D); y *movimiento pendular amortiguado* (Sistema C parte C).

Desde el punto de vista causal, el movimiento horizontal uniforme (ausencia de fuerzas de rozamiento) del Sistema A es *acausal*, ya que no hay ninguna causa que lo *genere*. Está regido por la ley de conservación de la cantidad de movimiento o ímpetu (segunda ley de Newton). Los otros movimientos son *causados, generados* por fuerzas iniciales, que rompen el equilibrio del Sistema, poniéndolo en movimiento; y determinados por las fuerzas gravitatorias que rigen su posterior evolución; y, en su caso, también por las fuerzas de rozamiento.

Los movimientos parabólicos (ausencia de fuerzas de rozamiento) se consideran normalmente en la ciencia escolar como resultado de la composición de movimientos horizontales y verticales. En este caso, el movimiento horizontal es uniforme, y por lo tanto, también *acausal*, (Cfr. Cuadros de los Sistemas A y C parte D). En el caso de presencia de fuerzas de rozamiento, el movimiento horizontal uniformemente retardado del Sistema A tiene características similares al movimiento vertical de subida del Sistema B (cambia la dirección del movimiento).

Por lo dicho anteriormente, los Sistemas A, B y C parecieron idóneos para suministrar datos acerca de la concepción causal espontánea de los sujetos y para estudiar la coherencia de sus explicaciones acerca del funcionamiento de los mismos; ya que al presentar características suficientemente semejantes, podríamos establecer comparaciones entre ellas; y al presentar características suficientemente distintas, podríamos estudiar si existe alguna base subyacente a las diferentes explicaciones que sirviera para establecer algún tipo de coherencia entre las mismas.

5.1.2. ENTREVISTA

En relación a la entrevista, y teniendo en cuenta los resultados del estudio exploratorio, decidimos mantener de fondo la articulación en tres partes y el tipo de preguntas que proponía el cuestionario que aparece en el Apéndice I(4.8), pero prestando más atención a los datos ofrecidos por el sujeto; esto es, en vista de las posibilidades ofrecidas por el proceso de teachback y las perspectivas aportadas por el modelo de de Kleer y Brown, *prestaríamos especial interés a las ambigüedades* que aparecieran en las explicaciones del sujeto, haciendo de ellas, siempre que fuera posible, *el hilo conductor de la conversación*.

Según de Kleer y Brown, el percibir falta de consistencia/coherencia, correspondencia o robustez en los modelos mentales es lo que ponía en marcha el proceso de *reconstrucción o aprendizaje* de los mismos. Esto último supone, según los autores, la explicitación del pensamiento implícito por parte del sujeto (explicitación de las convenciones implícitas), para eliminar las ambigüedades introducidas en sus modelos mentales durante el proceso *pre-visión*.

Parecía, pues, natural, establecer el supuesto de que *el esfuerzo por eliminar ambigüedades es, al mismo tiempo, esfuerzo de profundización en el nivel de explicitación del pensamiento implícito*, que es precisamente el objeto de nuestra entrevista.

Por otra parte, el proceso de teachback, planteado de esta manera, debería facilitar que la entrevista fluyera de forma más natural que si ésta se realizara al hilo de las preguntas de un cuestionario, ya que se montaba sobre el supuesto interés psicológico del sujeto (la necesidad de que sus modelos mentales acerca de la realidad física fueran consistentes/coherentes, correspondientes, y robustos), y no sobre una lista de cuestiones de interés para el investigador.

5.1.3. MUESTRA

El tiempo empleado en el análisis de los datos del estudio exploratorio, utilizando categorías extraídas del modelo mental mecánico de de Kleer y Brown, nos hizo reconsiderar el tamaño de la muestra prevista en primera intención (Cfr. apartado 4.3. del Capítulo anterior).

Al realizar el primer diseño, e incluso al plantear el estudio exploratorio, no podíamos imaginar el alcance del sondeo en el pensamiento implícito que facilitaba el proceso de teachback; ni tampoco la finura en el análisis de los datos que permitía la referencia al modelo de de Kleer y Brown. Esto nos planteó el problema de elegir -contando con el tiempo previsto- entre aprovechar al máximo de nuestras posibilidades la oportunidad de profundizar o mantener la extensión prevista, con menoscabo de dicha profundidad. Ante el dilema *extensión-profundidad*, nos decidimos por la *profundidad*, lo que comportaba una disminución en el tamaño de la muestra. Esta quedó constituida de la manera siguiente:

- 5 alumnos de COU de Ciencias
 - 5 alumnos de 8º curso de EGB
- } ni muy brillantes, ni poco brillantes

Al término "brillante" le dábamos el mismo significado que le dimos en el estudio exploratorio, y así lo comunicamos a las profesoras de COU y EGB. También se les pidió que ninguno de los alumnos propuestos repitiera curso.

Las características de procedencia de los sujetos de la muestra, así como sus niveles de exposición a la "ciencia escolar", eran las mismas que las descritas en el estudio exploratorio (los mismos centros; los mismos programas de contenidos).

Los cinco sujetos de COU (2 alumnas, CIC y JUC; 3 alumnos, OSC, JAC y FAC) tenían una edad media de 17,5 años; los de EGB (3 alumnas, SUE, SOE y CIE; 2 alumnos, DAE y JAE), de 13,8 años. Todos ellos se ofrecieron voluntariamente, ante una invitación de sus respectivas profesoras.

5.3. APLICACION

- Para el establecimiento del *dominio* de la conversación, seguimos el procedimiento explicado en el estudio exploratorio (Ver el punto *Administración*, en el apartado 4.3 del Capítulo anterior). Esto es, las profesoras explicaron a los alumnos voluntarios de qué se trataba, y la investigadora situó el tema y modo de proceder en la entrevista, siguiendo los pasos 1 al 11 allí descritos.

Las entrevistas se llevaron a cabo *en el recinto escolar*, aunque *en lugares diferentes a las aulas donde los alumnos recibían clases*, por los motivos expuestos en el estudio exploratorio.

- La *duración* de la entrevista se fijó en un máximo de 60 minutos. En este tiempo los sujetos debían comentar únicamente los Comics A, B y C.

- Fijamos la *secuencia de presentación* de los comics, que sería: 1º, Comic A; 2º, Comic B; 3º, Comic C. La razón de ello fue que, como preveíamos fenómenos de aprendizaje², nos pareció interesante controlar el sentido del desarrollo de las construcciones y reconstrucciones que éste conlleva; lo que permitiría ver si lo aprendido en un Sistema se transfería a aspectos no previstos del comportamiento del mismo Sistema (segundo tipo de aprendizaje: robustez de los modelos construidos), y también a otros Sistemas parecidos (tercer tipo de aprendizaje: eficacia del proceso *proyección* en la construcción de los modelos).

² Desde ahora, y mientras no advirtamos lo contrario, siempre que hablemos de *aprendizaje* nos referiremos al sentido que toma esta palabra en el modelo de de Kleer y Brown. Cfr. Capítulo 2, apartado 2.4.2, punto *Tipos de aprendizaje*.

- Era de esperar, ante los resultados del estudio exploratorio, que los sujetos de COU emplearan más tiempo en explicar los comportamientos de los Sistemas que los sujetos de EGB. Más aún: posiblemente a los alumnos de COU les faltaría tiempo para comentar exhaustivamente el comportamiento de los 3 Sistemas; mientras que a los alumnos de EGB podría sobrarles. Por esta razón acordamos lo siguiente:

- a) Todos los sujetos debían explicar el comportamiento de los tres Sistemas.
- b) No dividiríamos el tiempo en tres partes iguales, asignando matemáticamente una parte al comentario de cada Sistema, sino que, cuando fuera necesario, se tendería a que las explicaciones a los Sistemas A y B fueran lo más extensas posibles, y, en su caso, enfocar el proceso de teachback en relación al tercer Comic (Sistema C, partes C y D) de manera que sirviera principalmente como último intento para que los sujetos explicitaran su pensamiento, en relación a los puntos que habían quedado ambiguos en los comentarios a los Sistemas anteriores.

En el caso del *grupo de EGB*, con una *duración media de 50 minutos por entrevista*, no fue necesario tener en cuenta el punto b) del acuerdo anterior: sólo uno de los sujetos (CIE) agotó el tiempo asignado³; los otros alcanzaron el *límite de sus explicaciones* ⁴ antes de que éste terminara.

En cambio, en el *grupo de COU* todos los sujetos agotaron el tiempo asignado, excepto CIC, que alcanzó el límite de sus explicaciones a los 50 minutos. En este grupo la *duración media de las entrevistas fue de 60 minutos*.

Las entrevistas se transcribieron para su análisis posterior. Para facilitar las referencias se señaló en el margen de la transcripción, dentro de paréntesis redondos, los números que aparecían en el contador del magnetofón utilizado, contados de 10 en 10, que se correspondían con el pasaje correspondiente de la entrevista.

El comportamiento del grupo fue análogo al del grupo de estudio exploratorio: en todo momento los sujetos se mostraron deseosos de colaborar, relajados y parecía que se lo pasaban bien. Las historietas les resultaron divertidas, y todos conocían a los personajes protagonistas del Comic A y del Comic C; la mayor parte de los sujetos no necesitaron leer el

³ En realidad, CIE, la más joven del grupo, sobrepasó 7 minutos el tiempo asignado. Tratándose de un sujeto de EGB, y ante su alta capacidad explicativa, comparada con la de sus compañeros de grupo, optamos por no acortar el proceso de teachback.

⁴ Llamaremos *límite de las explicaciones* de un sujeto al punto de la conversación en que éste ya no ofrece más datos, bien porque afirma que no sabe más, o porque los que ofrece empiezan a ser redundantes. En el primer caso es el sujeto el que expresa y establece el límite; en el segundo, el límite lo juzga y establece la entrevistadora.

texto de las viñetas para explicar lo que sucedía en cada una de ellas. Sólo un sujeto, FAC, creyó en un primer momento que se le iban a calificar sus explicaciones; equivocación que aclaramos enseguida, y que no se vio reflejada en el comportamiento de éste a lo largo de la entrevista.

Los comentarios de los sujetos acerca de la entrevista y el tipo de cuestiones presentadas también resultaron parecidos a los realizados por el grupo del estudio exploratorio: *el esfuerzo de pensar era grande; nadie les había preguntado de esa manera; nunca habían pensado así*. Un sujeto expresó su sensación de novedad de la siguiente manera:

- "¡Ya verás cuando llegue a casa! Me voy a coger los libros de Física y me los voy a leer [Risas]". (CIC, B2[20](350)).

5.4. ANALISIS DE LOS DATOS

El resultado del estudio exploratorio dejó claro que, debido fundamentalmente a la naturaleza dinámica de los datos, las categorías de análisis extraídas de fuentes tradicionales (ej. Thomas, Wartofsky) no eran suficientes para dar cuenta de los mismos. Esto nos llevó a considerar la conveniencia de ensayar con categorías extraídas de otros campos de investigación, como la IA, particularmente, del *modelo mental mecánico* de de Kleer y Brown. El ensayo de análisis de los datos utilizando estas categorías sí resultó satisfactorio (Cfr. apartado 4.6 del Capítulo 4).

Como consecuencia, decidimos realizar el análisis de los datos del estudio principal utilizando categorías extraídas de dicho modelo, como se verá a continuación.

5.4.1. CATEGORIAS DE ANALISIS

La unidad de análisis

Al describir las nociones fundamentales que constitúan el vocabulario básico para referirse a la simulación cualitativa, de Kleer y Brown explican cómo se cuantifica el tiempo en su modelo. Para ello se valen de la noción de *Episodio*, que definen de la manera siguiente:

"Episodios: Se utilizan episodios para cuantificar el tiempo en periodos, dentro de los cuales el comportamiento de un sistema es significativamente diferente" (de Kleer y Brown 1984 p. 10. Énfasis en el original).

Es decir, dentro del tiempo que constituye un Episodio⁵ el comportamiento de un sistema permanece el mismo; y un Episodio se distingue de otro en que el comportamiento del sistema en los respectivos Episodios es diferente.

Tomamos como unidad de análisis el Episodio, es decir, el tiempo en que la explicación del sujeto se refiere a un comportamiento del Sistema que permanece el mismo.

Cambios de comportamiento del sistema marcan, consecuentemente, cambios de Episodios.

* Por ejemplo: La entrevistadora (ENT)⁶ pregunta a SOE qué cosas intervienen para que el columpio (Comic C) siga la trayectoria que ésta ha descrito con anterioridad. SOE responde:

- "Pues... el impulso que Zape le da al columpio, y que va hasta B. Cuando llega a B, pues... el hecho de que ese impulso se termina, hace que vuelva aquí... Uhm... Y en un cierto tiempo, el columpio... acabará parándose".

En esta explicación SOE ha descrito los siguientes comportamientos distintos del Sistema:

- [4] - Zape le da un impulso al columpio y con este impulso el columpio llega hasta B (el columpio sube)
- [5] - En B el impulso se termina (el columpio deja de subir)
- [6] - Al terminar el impulso, el columpio vuelve al punto de partida (el columpio baja)
- [7] - Transcurrido un cierto tiempo, el columpio se para (el columpio vuelve al reposo, en la posición inicial).

Cada uno de los comportamientos anteriores, [4], [5], [6], y [7], constituyen un Episodio.

Las Categorías

Las categorías de análisis fueron:

a) *Elementos explícitos* del modelo causal utilizado en la explicación del Episodio, en términos de *constituyentes* del Sistema. Estos constituyentes definían la *topología* del Sistema, y son:

⁵ Desde ahora para referirnos a este término técnico utilizaremos la mayúscula.

⁶ Desde ahora, la entrevistadora la escribiremos ENT en el texto, siempre que nos refiramos a las entrevistas del estudio principal.

- ♦ *materiales* : constituyentes que poseen atributos, los cuales pueden cambiar por una acción causal.
- ♦ *componentes* : constituyentes que pueden ejercer acciones causales y, por lo tanto, pueden producir cambios en los atributos de los materiales.
- ♦ *conductos* : constituyentes que no juegan papel activo en la acción causal, sino que son simple soporte de la misma, o se limitan a transmitir información de un componente a otro.

b) *Descripción funcional* del modelo causal, realizada en el Episodio considerado.

c) *Representación estructural* de las relaciones causa-efecto en el Episodio. Aquí se señalan también los *principios causales* implícitamente invocados en la explicación; y, si procede, la utilización de la *Convención Amplia* y de la *Heurística Canónica*.

d) *Reconstrucción o aprendizaje* (AP) del modelo causal, mediante la búsqueda implícita de *consistencia/coherencia*, *correspondencia* y *robustez*. Destacándose también las *Convenciones* implícitas (I) y explícitas (E), y las ambigüedades (A) que quedan sin resolver.

* Por ejemplo: CIC acaba de examinar el Comic A y ha descrito globalmente lo que sucede en el mismo. La entrevista continúa del siguiente modo:

ENT.- "Vale... muy bien... Vamos a ver ahora estas tres viñetas... ¿Qué cosas crees que están influyendo en que la bola, que estaba quieta en un principio, ... empiece a moverse y haga todo este recorrido, hasta que se cae?"

CIC.- Pues, lo primero, que el... el ratón a su vez mueve la escoba y... da un golpe a la bola, y ésta a su vez se mueve, y va rodando por la repisa, hasta que llega un momento que no tiene ya... espacio donde seguir moviéndose recto, y entonces cae para abajo... y ya se para cuando llega al cojín."

La frase

- "Pues, lo primero, que el... el ratón a su vez mueve la escoba y... da un golpe a la bola, y ésta a su vez se mueve, y va rodando por la repisa"

constituye un Episodio⁷. En su análisis:

a) Los *elementos explícitos* serían: ratón, movimiento, escoba, golpe, bola, movimiento, rodar, repisa.

⁷ Es claro que aquí hay también un Episodio implícito, que es aquel en el que la bola está parada. CIC parece aludir a ello con la frase "... lo primero... ". Esta posibilidad se considera con más detalle en el análisis del protocolo de CIC. Cfr. CIC, A0[1](010) y A1[2](010).

b) La *descripción funcional* del modelo causal del Episodio sería

golpe -> bola -> mover

c) La *representación estructural* sería:

→ ● *

Se ha aplicado el *principio causal* de *Constancia* (toda causa produce un efecto), y también parece que CIC ha aplicado en este Episodio la *Convención Amplia* de no considerar la actuación de la gravedad. Pero esto último no está claro.

d) En la última categoría se podría señalar:

(I) El *modelo causal inicial* es simple: se relaciona una sola causa con un solo efecto.

(E) El ratón es un *componente* (agente causal), pues causa que la bola que estaba quieta (Episodio implícito) se ponga en movimiento.

(E) La bola es un *material* : sus atributos (velocidad) cambian por efecto de la acción causal del componente (ratón).

(E) El golpe es la *acción* realizada por el agente causal, que cambia el estado de movimiento de la bola (atributos de ésta).

(I) La repisa es un *conducto* : Condiciona el camino que sigue la acción causal, pero no interviene en la misma.

(I) La escoba es un *conducto* : transmite la acción causal del ratón a la bola de manera pasiva.

(E) La velocidad, o estado de movimiento de la bola, es un *atributo* de ésta.

(A) No se explicita cómo se mantiene el movimiento sobre la repisa, una vez iniciado: no se sabe si CIC recurrirá para explicarlo a la conservación de la cantidad de movimiento (pensamiento legal) o a una causa *mítica* (pensamiento causal). Tampoco menciona CIC la acción de la gravedad en este Episodio. Puede deberse a ignorancia (cosa improbable en una alumna de COU) o al recurso a la Convención Amplia.

En el proceso de teachback ENT debería plantear cuestiones que dieran la oportunidad a CIC de explicitar su pensamiento acerca de estos puntos.

En el Apéndice II(5.B) se muestra la plantilla en la que se organizan los datos de acuerdo con estas categorías.

5.4.2. SIGNOS UTILIZADOS EN EL ANALISIS

Identificación de los sujetos

A cada sujeto de la muestra se le asignó un código de tres letras: las dos primeras tomadas de su nombre; la tercera, para indicar su grupo de pertenencia: C, para el grupo de COU; y E para el grupo de EGB. Por ejemplo, JAC es de COU; y DAE de EGB.

Identificación de los Episodios

Para *identificar los Episodios* a los que se refieren los sujetos cuando explican los funcionamientos de los Sistemas, tomamos como referencia los diferentes comportamientos que podrían apreciarse en las descripciones cualitativas de los mismos, tal como aparecen señalados en los Cuadros 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4. Así:

- Los relativos al Sistema A serían los **A0, A1 y A2** (A2.1 y A2.2 si se consideran rozamientos), señalados en el Cuadro 5.1.
- Los relativos al Sistema B, serían los **B0, B1, B'0 y B2**, señalados en el Cuadro 5.2.
- Los relativos al Sistema C parte C, los **C0, C'1, C'0, C2, C''0, C'1, C'''0 y C'2** (C0(F) si se consideran rozamientos), señalados en el Cuadro 5.3.
- Los relativos al Sistema C parte D, los **D0, D1, D'0 y D2**, (D2.1 y D2.2 si se consideran rozamientos), señalados en el Cuadro 5.4.

Número de la explicación

Las explicaciones a los Episodios se numeraron correlativamente, con números incluidos entre paréntesis cuadrados, que se intercalaron en sus lugares correspondientes en los protocolos, a medida que se realizaba el análisis. Así, por ejemplo, el texto del protocolo de SUE, refiriéndose al sistema B:

- "Pues el hombre parece que va a cazar, y lleva un arco... y dispara la flecha hacia arriba. Entonces la flecha empieza a subir, y cuando llega a un punto, no da al pato éste, y no le da, y la flecha empieza a caer, y le cae encima".

Aparecería después del análisis de la manera siguiente:

- "Pues [1] el hombre parece que va a cazar, y lleva un arco... y [2] dispara la flecha hacia arriba. Y entonces la flecha empieza a subir, y [3] cuando llega a un punto, no da al pato éste, y no le da, y la flecha empieza a caer [4], y le cae encima".

A veces el sujeto añade detalles a una explicación, ampliando o matizando la misma. En este caso se añade un número romano al número de la explicación correspondiente. Por ejemplo, [12i]. Cuando el sujeto realiza representaciones gráficas relativas al Sistema que está explicando, a veces se sustituye el número de la explicación por una G, que se numera también correlativamente. Por ejemplo, [G3].

El protocolo completo de un sujeto de COU (OSC), tal como quedó después del análisis, aparece en el Apéndice II(5.C).

Iniciativa de la explicación

En el análisis se distingue entre explicaciones que el sujeto ofrece *espontáneamente* antes de comenzar el proceso de teachback, y las que produce *después* del comienzo del mismo. Esto se indica con una rotulación destacada en la plantilla de análisis.

En todos los casos, cuando el sujeto explica respondiendo a una iniciativa de ENT se señala en el análisis con el signo "🍏".

Codificación de las categorías. Signos utilizados

En la codificación de los distintos elementos pertenecientes a las categorías de análisis, se utilizaron una variedad de signos convencionales, a fin de simplificar su notación. Son los siguientes:

- indica un COMPONENTE del Sistema.

Por ejemplo, una tabla que ejerce rozamiento.

- > indica una ACCIÓN llevada a cabo por un componente o por un agente exterior.

Por ejemplo, una fuerza.

- indica una MATERIAL

Por ejemplo, una bola.

- * indica un ATRIBUTO del material

Por ejemplo, la velocidad de una bola

Δ indica un CONDUCTO

Por ejemplo, una tabla que no ejerce rozamiento

\diamond indica una *relación* entre elementos citados. Esta relación puede ser *cualitativa* (por ejemplo: si la fuerza es grande, la velocidad también es grande -sic-), o *algorítmica* (por ejemplo: $p = m.g$).

$+$ indica *elementos descriptivos*, no relacionados por el sujeto en la acción causal.

Por ejemplo, la bola es *negra*.

La relación entre los signos

$\rightarrow, \bullet, *$

indica la estructura causal de las relaciones. Así, por ejemplo:

1) $\rightarrow \bullet *$; 2) $\rightarrow \bullet *$

significa en el primer caso una estructura simple, en la que una sola causa se relaciona con un solo efecto; en el segundo, representa una estructura compleja, en la que dos causas se suman para producir un sólo efecto.

Las mismas estructuras anteriores podrían estar representadas de la siguiente forma:

3) $* \bullet \leftarrow$; 4) $* \bullet \leftarrow$

En los casos 1) y 2) indicaría que el sujeto está utilizando un *razonamiento* que va *de la causa al efecto* ; mientras que en los casos 3) y 4) indicaría que el sujeto utiliza un *razonamiento* que va *del efecto a la causa*.

Análisis de las representaciones gráficas

Al terminar la entrevista, además de disponer de una cinta grabada, también teníamos una serie de representaciones gráficas, que el sujeto había realizado durante el transcurso de la misma, sobre el funcionamiento de los Sistemas que había comentado.

Estas representaciones gráficas habían sido completadas y rectificadas por el sujeto a lo largo de la entrevista, hasta adoptar la forma final que presentaban al terminar la conversación. El proceso de construcción y reconstrucción de estas representaciones acompañó al proceso de construcción y reconstrucción de los modelos mentales

correspondientes, de manera que era importante que en el análisis, junto con los cambios que experimentaban los modelos mentales, también apareciera la evolución de las representaciones gráficas, al ritmo y modo con que la modificaban los sujetos.

Teniendo en cuenta esto, ENT tomó las siguientes precauciones durante la entrevista:

- 1.- Pedir a los sujetos que *rotularan* siempre los elementos que iban añadiendo a los dibujos; y *nombrar esos elementos con su respectiva rotulación*, de manera que quedara registrado en la cinta.

Así, al analizar los protocolos, era fácil ver el momento de la aparición de los mismos, con poca probabilidad de confusión.

- 2.- Invitar a los sujetos a que utilizasen *distintos colores* para distinguir los elementos que pudieran prestarse a confusión; diciendo también *en voz alta los colores y los elementos correspondientes*.

Así, en la transcripción de la cinta había elementos suficientes como para que la interpretación del ritmo de aparición de los distintos elementos no se prestara a arbitrariedades.

Los ejemplos siguientes, tomados de los protocolos de los sujetos, ilustran la puesta en práctica de estas precauciones:

ENT.- "Ahora... ponme letras en esos puntos... en esas posiciones.

JAC.- ¿Letras?

ENT.- Sí... Las letras son para que yo distinga luego, en la cinta, al transcribir, en qué posiciones está..." (JAC, A[G3](020))

* * * *

ENT.- "Si no hubiera ese eje, ¿cómo sería el movimiento?

DAE.- Para acá... [Dibuja]

ENT.- Vale... hacia donde está la flecha negra, ¿no? ... muy bien... " (DAE, C1[10iii](500)).

* * * *

ENT.- "Aha... le dan el golpe... ¿dónde? ... sitúa la bola donde le den el golpe.

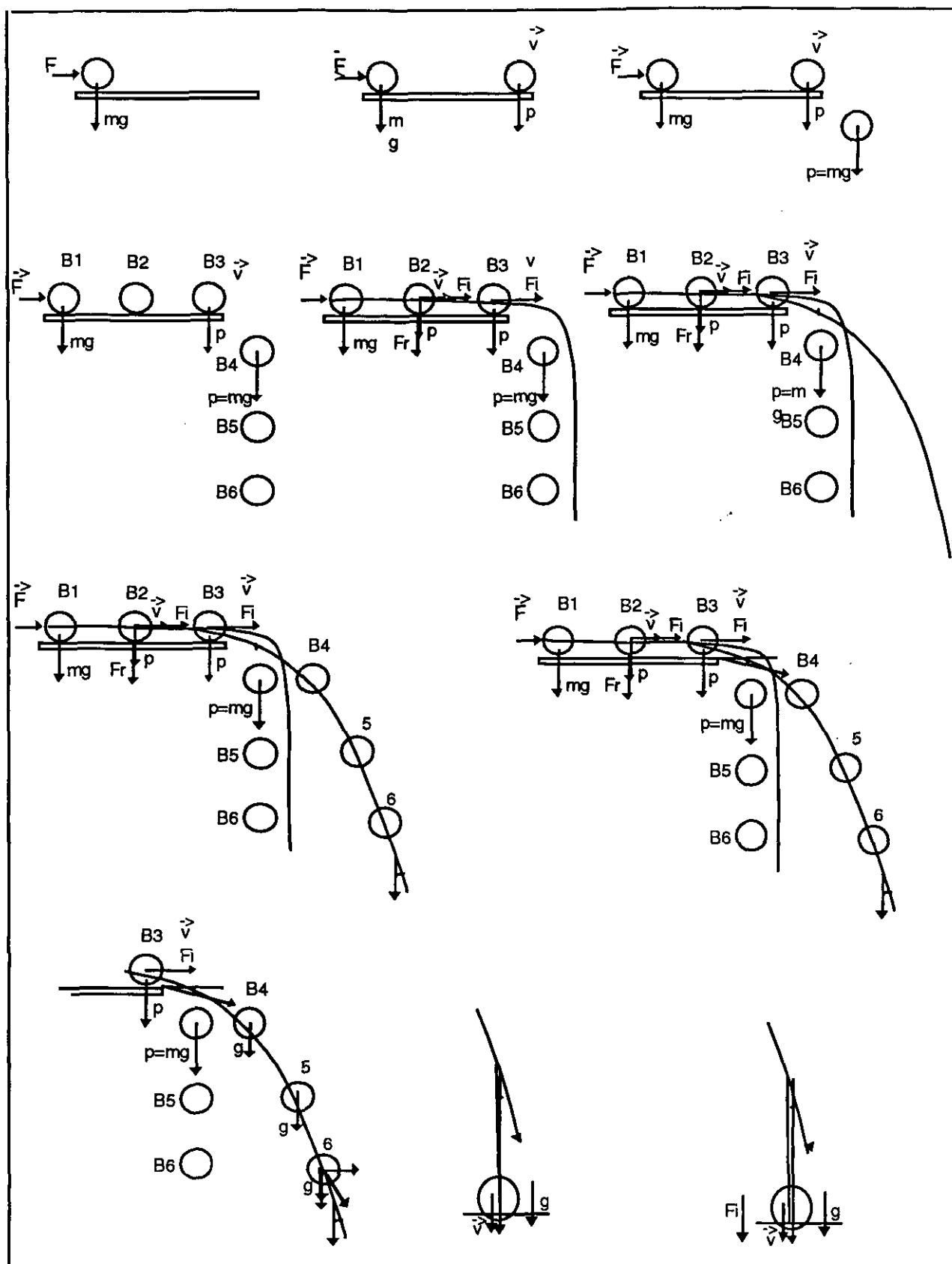


FIGURA 5.1. Reconstrucción de la representación gráfica del funcionamiento del Sistema A, tal como aparece progresivamente en el análisis del protocolo de OSC.

SOE.- Aquí.

ENT.- Ahí... Ponle un punto... por ejemplo... Es que si no, cuando transcriba, no sé dónde es "aquí"... [Dibuja] ... En el A... Ahí le dan el golpe" (SOE, A1[G2](030)).

En el Apéndice II(5.D) se incluyen las representaciones gráficas realizadas por OSC, tal como aparecían al término de la entrevista. En la Figura 5.1 se muestra la construcción de la representación gráfica del funcionamiento del Sistema A realizada por este sujeto, tal como aparece progresivamente en el análisis del correspondiente protocolo.

5.4.4. EJEMPLO ILUSTRATIVO

Todo el conjunto de convenciones anteriores quedaba plasmado en la plantilla de análisis. Así, el texto que sigue, que es una acotación del protocolo de SUE, quedó después del análisis de la manera siguiente:

ENT.- Hazme un dibujo igual que antes... una cosa muy sencilla, esquemática, de lo que...

SUE.- ¿Dibujo al hombre que tira la flecha?

ENT.- Sí, y la trayectoria de la flecha.

(190)

[Dibuja]

SUE.- Este [5] sería el hombre. Tiraría [6] la flecha y empezaría a subir. Y [7] entonces la flecha empezaría a girar. Y... [8] cuando llega así a un punto, que volvería la gravedad otra vez a atraerla, y caería hacia abajo.

ENT.- Vale... Vamos a ponerle letras para... [G1]

SUE.- Este sería A...

(200)

ENT.- Que es donde empezaría a subir.

SUE.- B donde gira, y C donde llega hacia abajo.

ENT.- Vale... Muy bien... Lo mismo que hicimos antes, señala un punto intermedio entre A y B y otro entre B y C, y ya tenemos el dibujo completo.

[Dibuja]

Ponle letras también, por favor.

(210)

SUE.- S y D.

ENT.- Vale... [9] ¿Qué es lo que hace que la flecha en A vaya para arriba? [10]

SUE.- El... el impulso que le da el hombre con el arco".

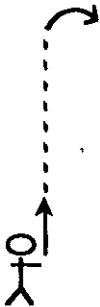

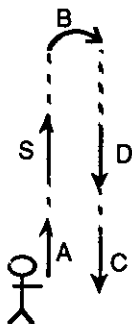
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|---|---|---|
| <p><u>EPISODIO B'0</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • flecha * gira |  | [7] (190) | <p>I.- La flecha alcanza un punto en que gira. No dice que se pare.</p> <p>I.- Parece representar un episodio de transición B'0-B2.</p> <p>A.- No se explicita ningún agente causal.</p> |
| <p><u>EPISODIO B2</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + llegar a un punto -> gravedad atrae * caída |  <p>gravedad->flecha->caída atrae</p> | <p>[8] (190)</p> <p>→ • *</p> <p>Constancia Condicionabilidad Localidad</p> | <p>E.- Cuando en el giro "llega a un punto", "volvería la gravedad otra vez a atraerla" y caería.</p> <p>I.- Parece que "llegar a un punto" es condición para que g empiece a actuar. Localidad</p> <p>I.- "Otra vez": alusión ANALÓGICA a lo que sucedió en A2.</p> <p>AP.- Se explicita por primera vez el modelo para la bajada. Parece incorporar lo aprendido en A2[G9](140). El modelo es correspondiente y coherente.</p> <p>A.- No se describe el movimiento de caída</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • rotular + A, comienzo + B, giro + C, abajo + S y D, intermedios |  | [G1] (190) | <p>I.- El entrevistador sugiere a SUE que complete el dibujo con los elementos que le servirán de apoyo en el Teachback.</p> |
| <p><u>TEACHBACK</u></p> <p><u>EPISODIO B0</u></p> | | <p>[9] (210)</p> <p>¿Convención A?</p> | <p>A.- Episodio implícito.</p> |
| <p><u>EPISODIO B1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • subir -> impulso - hombre Δ arco | <p>subir<-flecha<-impulso</p> | <p>[10] (210)</p> <p>* • ←</p> <p>Productividad ¿Mítica?</p> | <p>E.- "El impulso que le da el hombre con el arco"</p> <p>I.- El arco vuelve a explicitarse como CONDUCTO.</p> <p>I.- El modelo causal inicial es correspondiente y coherente.</p> <p>A.- Sigue sin explicitarse las características de la subida</p> |

FIGURA 5.2. Ejemplo ilustrativo de análisis de un texto, tal como queda reflejado en la plantilla, utilizando los signos convencionales representativos de los distintos elementos que se tienen en cuenta. (Tamaño ajustado a la página).

Su análisis aparecería en la plantilla como se muestra en la Figura 5.2. En ella también aparecen destacados los Episodios a los que se refieren las explicaciones (por ejemplo, EPISODIO B'0), y el número de la explicación (por ejemplo, [7]).

Acompañando al número de las explicaciones, aparece otro número de tres dígitos, encerrado entre paréntesis redondos. Este último indica el número aproximado⁸ que mostraba el contador del magnetofón cuando se realizó la transcripción del pasaje correspondiente de la entrevista grabada. Por ejemplo, [7](190) indica que la explicación [7] se encuentra situada en el protocolo entre las marcas del contador 190 y 200. De esta manera se facilita la *localización* de cualquier explicación en los protocolos correspondientes de los sujetos.

Esta notación también nos facilitó las *referencias* a las distintas explicaciones de los sujetos. Así, por ejemplo, SUE, B'0[7](190), quiere decir que se trata de una explicación de SUE, acerca del Episodio B'0, que es el número 7, y que en el protocolo correspondiente se localiza entre los pasos 190 y 200.

5.5 RESULTADOS

Realizado el análisis, lo sometimos al juicio de tres personas independientes: a una de ellas, conocedora del modelo de de Kleer y Brown, le entregamos todo el material; a las otras dos, una entrevista de cada nivel, seleccionadas al azar. Para que pudieran realizar su cometido, entregamos a cada una de estas personas a) una copia de nuestro artículo *Aportaciones de la investigación en Inteligencia Artificial a la investigación didáctica: el modelo mental mecánico de de Kleer y Brown* (Gutierrez 1990), donde se expone con detenimiento el modelo del que se toman las categorías; y b) el documento que aparece en el Apéndice II(5.E), donde se explicitan los signos utilizados en el análisis. El material entregado fue suficiente, a juicio de los interesados, para que realizaran la tarea que se les pidió.

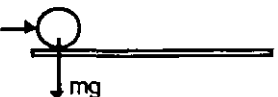
Las tres personas estuvieron de acuerdo con el análisis realizado. Sólo una de ellas pidió aclaración, en dos ocasiones, acerca de la distinción que se hacía, en dos Episodios distintos, entre componente y conducto.

Presentamos a continuación el Análisis del protocolo de OSC, que se adjunta en el Apéndice II (5.C). Este protocolo fue elegido al azar antes de realizarse el análisis del mismo. Por esta razón no se incluyen en este último extractos del mismo. Después se

⁸ Recuérdese a este efecto que los pasos del contador sólo se registraban de 10 en 10 en los protocolos.

presentan los Resultados de los Análisis⁹ de OSC y de todos los componentes de los grupos de COU y de EGB. Cada Resultado va precedido de una breve presentación de cada sujeto. El resto de los Análisis se incluye en el Apéndice II (5.F)

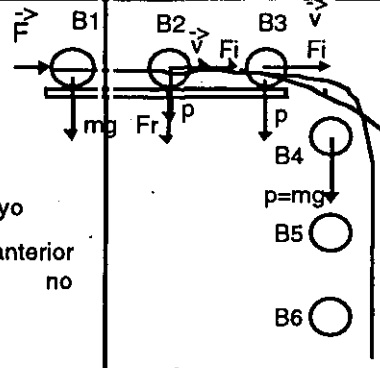
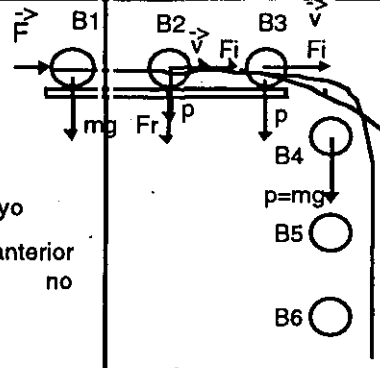
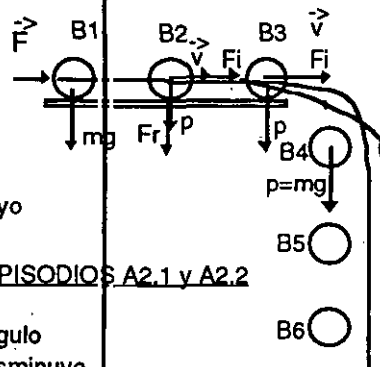
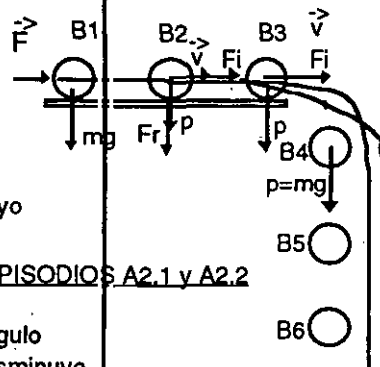
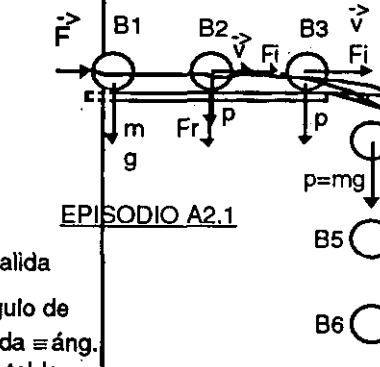
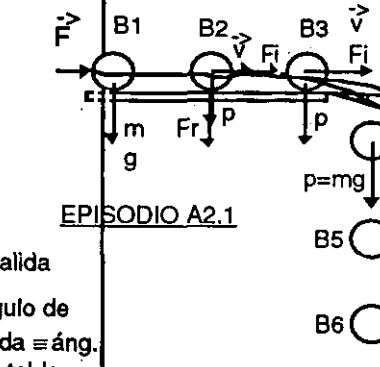
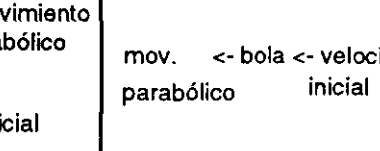
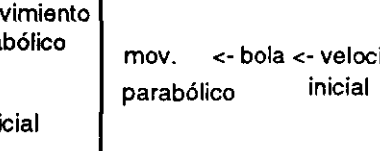
⁹ Cuando hablemos del *conjunto* de los resultados y del análisis lo notaremos siempre con mayúsculas, Resultados y Análisis.

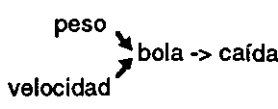


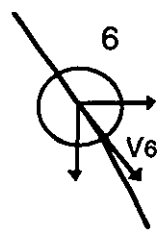

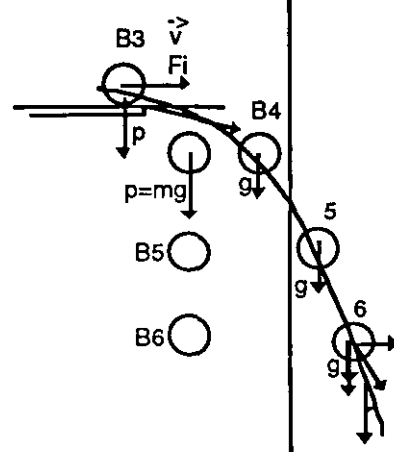
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|---|---|---|
| COMIC A PRIMERA EXPLICACION ESPONTANEA | | | |
| ● bola * reposo | EPISODIO A0 | [1] (010) ¿Convención A? | E.- Episodio explícito. I.- No hay efectos, luego causas despreciables. |
| -> fuerza Δ escoba ● bola * aceleración | EPISODIO A1.1 fuerza -> bola -> aceleración | [2] (010) → ● * Constancia ¿Mítica? | E.- Se explicitan dos episodios dentro del A1, el A1.1 y el A1.2. El primero es un movimiento acelerado y el segundo decelerado. I.- Modelo causal inicial de estructura simple: 1 causa -> 1 efecto E.- La escoba es un CONDUCTO: sólo se utiliza para transmitir la fuerza a la bola. I.- La tabla no se menciona. No interviene en la acción causal. En A1.1 se considera como un CONDUCTO. A.- No se sabe si la fuerza sigue actuando para mantener el movimiento. |
| * pierde aceleración -> rozamiento - tabla | EPISODIO A1.2 pierde <- bola <- rozamien. aceleración | [3] (010) * ● ← Productividad Localidad | E.- La segunda parte de la tabla se modeliza y explicita como un COMPONENTE, capaz de causar (rozamiento) un cambio en los atributos (deceleración) del material (bola). I.- Modelo causal inicial de estructura simple: 1 causa -> 1 efecto I.- El rozamiento se explicita aquí porque hace falta un candidato causal para explicar la deceleración. Localidad A.- No explica el cambio del papel causal atribuido a la tabla en uno y otro Episodio. |
| Δ fin tabla ● bola -> Fgrav. ◇ mg * aceleración * caer | EPISODIO A2 Fgrav. -> bola -> caída acel. | [4] (020) → ● * Constancia Condicionalidad | E.- La "fuerza de la gravedad" (Fgrav.) tiene por valor "la masa por la gravedad", y produce una caída acelerada. I.- Modelo causal inicial de estructura simple: 1 causa -> 1 efecto I.- El "fin de la tabla" parece indicar el cambio de Episodio. También parece indicar una condición para que empiece a actuar Fgrav. I.- La fuerza de la gravedad se menciona ahora, cuando ha sido necesaria para explicar la acción causal. Antes ha permanecido implícita. |
| ▲ gráfica EPISODIO A0 -> F + peso + masa + gravedad ◇ mg |  | [5] (030) Convención A | AP.- Se explicitan en este Episodio el "peso", la "masa" y la gravedad, quizás aprendidos en A2[4]. I.- "Peso" y "masa" parecen considerarse como atributos del material. La expresión "mg" que aparece en el gráfico parece ser la expresión algorítmica del "peso", aunque OSC no lo explicita. A.- No se expresa ninguna acción causal. |
| SEGUNDA EXPLICACION ESPONTANEA | | | |






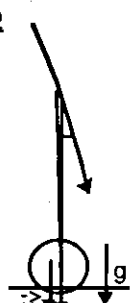

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • otros Δ inclinación tabla ->aire ->F, lo importante | | <p>[9](040)</p> <p>Condicionabilidad</p> | <p>E.- Lo realmente importante: "que actúe verdaderamente la fuerza".</p> <p>I.- El "aire" es un elemento exterior al sistema, alternativo a F, que puede ser utilizado como candidato causal probable cuando sea necesario.</p> <p>A.- La inclinación de la tabla parece ser una condición para que actúe la fuerza de la gravedad. Sería una condición estructural.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • relación mg - mov. ->mg * rozamiento - tabla * influencia a, v + negativa ◇ > m, > Fr ◇ > m, > N ◇ > N, > Fr | <p>1º)</p> <p>Influencia a,v</p> <p>mg->bola->rozamiento</p> | <p>[10](050)</p> <p>Productividad</p> | <p>E.- Cadena causal explícita.</p> <p>AP.- Se articulan aquí la relación entre "mg" (peso) y rozamiento, no explicitada en [6]. El modelo causal es coherente.</p> <p>I.- La razón por la que existe Fr, mg y Normal en el Punto B1 [A0] es que más tarde influirán en el movimiento.</p> <p>A.- No queda claro cuál es el papel de la tabla en el rozamiento.</p> |
| <p><u>EPISODIO A1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • movimiento * acel. negat. + acel.dism. ->Frozam. + contacto bola - tabla - tabla | <p>a. disminuye<-bola<-Frozam.</p> | <p>[11](050)</p> <p>Productividad</p> | <p>I.- Parece que la aceleración disminuye uniformemente. Esta concepción la mantiene OSC a pesar de que ENT cuidadosamente sólo pregunta por el movimiento.</p> <p>I.- El rozamiento "es contacto entre la bola y la tabla". La tabla parece un COMPONENTE.</p> <p>A.-Aquí "mg" no se relaciona con el "rozamiento", a pesar de la explicitación anterior.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • otros ->Finercia ◇ contraria a parada ◇ a favor del movimiento • relación con F ◇ contraria a la F de B1 + en reposo ◇ contraria al movimiento ◇ Fi en B1 cont. a Fi en B2 • tamaño Fi + no contesta | <p>movimiento<-bola<-Finercia</p> | <p>[12](060)</p> <p>Productividad</p> <p>Mítica</p> | <p>AP.- Finercia. Antes no se había citado. Se incorpora al modelo causal para dar cuenta de que el movimiento sigue, a pesar del rozamiento, preservándose así el Principio de Productividad: no hay efecto sin causa.</p> <p>I.- ENT trata de averiguar si OSC piensa en Fi en términos de "fuerza suministrada". Parece que no.</p> <p>I.- Al decir OSC que Fi es "contraria" a F, ENT intenta averiguar si se está refiriendo a una "fuerza" reactiva, aplicando el principio físico de acción y reacción. Por eso pregunta por "tamaño". OSC no responde, lo que excluye la suposición de ENT.</p> <p>A.- No queda clara la naturaleza de Fi. Sigue sin mencionar "mg".</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • rep. gráfica ◇ Fi en B1= Fi en B2 + peso | | <p>[12i](080)</p> | <p>I.- Aunque ENT deja una pausa antes de preguntar, OSC contesta ahora a la cuestión anterior. Pero la relaciona con el "peso", no con la fuerza inicial, F.</p> <p>A.- No queda claro cuál es esa relación.</p> |

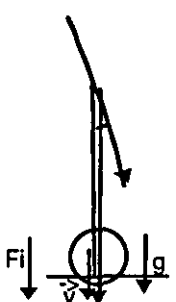
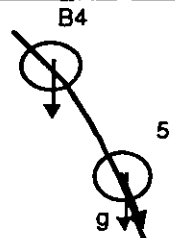
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|--|---|--|--|
| <p>¿"fuerza" F_i?</p> <p>->F_i</p> <p>* estado del cuerpo</p> | <p>$F_i \rightarrow$ bola \rightarrow estado del cuerpo</p> | <p>[12ii](090)</p> <p>$\rightarrow \bullet *$</p> <p>Constancia</p> <p>Mítica</p> | <p>I.- ENT intenta aclarar si el contenido de la palabra "fuerza" es el convencional. OSC matiza, hablando del "estado" del cuerpo. Con esto parece indicar que F_i es una especie de "fuerza" cuyo papel es el de mantener el movimiento del cuerpo si éste está moviéndose y mantener el reposo si éste está quieto.</p> <p>A.- Pero aún queda ambigua la conceptualización de F_i.</p> |
| <p>rep. gráfica</p> <p>+ en B1, dada por el peso</p> <p>+ en B2, por el peso y la velocidad</p> | | <p>[12ii](100)</p> | <p>E.- OSC no representa gráficamente F_i, sino que expresa otro tipo de relaciones con el "peso".</p> <p>AP.- OSC distingue dos situaciones: en reposo, F_i "viene dada" por el peso; en movimiento, por el peso y la velocidad. Hay una reconstrucción de este candidato causal. Cfr. A1[12i](060).</p> <p>A.- "Venir dado" no expresa con claridad la relación entre F_i, peso y velocidad.</p> |
| <p>rep. gráfica</p> <p>+ en B2, dada por el peso y la vel.</p> | | <p>[12iv](100)</p> | <p>E.- OSC añade p al dibujo.</p> <p>AP.- Ahora p está representado gráficamente en el centro de la bola. Quizá aprendido de A2[7].</p> <p>A.- Pero sigue resistiéndose a representar gráficamente F_i.</p> |
| <p>otros en movimiento</p> <p>->F_r</p> <p>+ punto contacto bola-tabla</p> <p>rep. gráfica</p> <p>+ perpendic. al movim.</p> | | <p>[13](110)</p> | <p>I.- ENT deja de insistir acerca de F_i, para evitar el bloqueo de OSC.</p> <p>I.- La representación gráfica de F_r indica falta de asimilación del concepto científico.</p> <p>AP.- Coherente con [10], ya que allí "mg" es lo que produce el rozamiento, y aquí F_r sigue la dirección de p (mg).</p> <p>A.- Aunque se menciona la tabla, no queda claro su papel en el rozamiento. Parece que este sólo depende de "mg" (p).</p> |
| <p>otros</p> <p>+ aire</p> | | <p>[13i](110)</p> | <p>I.- El aire, disponible como candidato causal para ser utilizado en el sistema en caso necesario.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> dirección F_i + del movim. rep. gráfica \vec{v} + F_i | | <p>[14](120)</p> | <p>I.- ENT vuelve a F_i con otra perspectiva, para intentar que OSC explicita su pensamiento.</p> <p>A.- La representación gráfica de F_i es la de una fuerza que actúa en el interior del cuerpo. Habría que intentar que OSC explicita más la relación de F_i con F y con v.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> relación $F_i - F$ + es distinta + varía en cada punto -> F_r * menor v -> F_i + menor rep. en B3 $\diamond < B2$ | | <p>[14i](120)</p> <p>Productividad</p> <p>Asimetría</p> <p>Mítica</p> | <p>E.- F_i distinta de F porque existe la fuerza de rozamiento. Cadena causal explícita.</p> <p>I.- El origen de F_i no es claro. Aquí aparece un atisbo de relacionarla con F, pero rectifica y la relaciona con la velocidad.</p> <p>AP.- Aparece más clara la relación de F_i con la velocidad, con perjuicio del peso, que no se menciona (Cfr. A1[12iv](100)).</p> <p>A.- El Principio de Asimetría impide que OSC confunda la causa con el efecto. Pero introduce ambigüedades.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> origen F_i + empieza a moverse -> F * v + en movim. (B2) -> v * F_i * v -> movimiento actuación + dentro cpo. + producida por cuerpo | <p>12)</p> <p>$F \rightarrow \text{bola} \rightarrow \text{movimiento}$</p> <p>$F_i \leftarrow \text{bola} \leftarrow \text{velocidad}$</p> <p>$F_i \rightarrow \text{bola} \rightarrow \text{movimiento}$</p> | <p>[15](130)</p> <p>Constancia</p> <p>Asimetría</p> <p>Mítica</p> | <p>E.- Cadena causal explícita.</p> <p>AP.- F_i es una fuerza de "dentro del cuerpo", producida por "el mismo cuerpo". Expresivo de lo que es un candidato causal mítico.</p> <p>AP.- Se explicita más el modelo causal del Episodio. F_i parece conceptualizada como la tradicional "fuerza suministrada", pero aquí depende de F por mediación de v.</p> <p>AP.- El movimiento aparece como una causa en el sentido clásico del término.</p> <p>A.- La función de F_i sería la de mantener el movimiento, pero no aparece explicitado.</p> |
| <p>EPISODIOS A</p> <ul style="list-style-type: none"> trayectoria + parabólico + v salida + ángulo salida $\diamond v$, más o menos apertura | | <p>[G1](150)</p> | <p>E.- La trayectoria es "parabólica".</p> <p>I.- "Parabólico", según el dibujo, parece significar "curvo".</p> <p>I.- La trayectoria es consistente con el esquema anterior (Cfr. [8](040)).</p> <p>A.- Parece que un tramo de la trayectoria es curvo y otro recto vertical.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|--|---|--|
|  <p>hoyo + la anterior no</p> |  <p>B1 B2 B3 B4 B5 B6</p> <p>\vec{F} \vec{v} F_i F_i \vec{v}</p> <p>mg F_r p p $p=mg$</p> | <p>[G2](160)</p> | <p>AP.- Rectifica la representación anterior. Ahora sí parece una parábola. Esto supondría una reconstrucción del modelo causal para A2 (Cfr. A2[4](020) y [7](030)).</p> <p>A.- Hay que verificar cuál de los dos modelos es robusto.</p> |
|  <p>hoyo</p> <p>EPISODIOS A2.1 y A2.2</p> <p>+ ángulo disminuye + t suficiente + caída vertical + bolas 5 y 6</p> |  <p>B1 B2 B3 B4 B5 B6</p> <p>\vec{F} \vec{v} F_i F_i \vec{v}</p> <p>mg F_r p p $p=mg$</p> <p>5 6</p> | <p>[G3](170)</p> <p>Condicionabilidad</p> | <p>E.- El ángulo de la trayectoria con la vertical es cada vez menor. Con "tiempo suficiente" (condición), se alcanzaría la vertical.</p> <p>AP.- Se explicitan en A2 dos Episodios: A2.1 (trayectoria curva) y A2.2 (trayectoria vertical). El modelo es coherente con todo lo explicitado hasta ahora.</p> <p>A.- Habría que probar la robustez de esta concepción.</p> |
|  <p>EPISODIO A2.1</p> <p>v salida</p> <p>+ ángulo de salida \equiv áng. con tabla</p> <p>-> componente velocidad</p> <p>* caída</p> |  <p>B1 B2 B3 B4 B5 B6</p> <p>\vec{F} \vec{v} F_i F_i \vec{v}</p> <p>m g F_r p p $p=mg$</p> <p>caída <- bola <- velocidad inicial</p> | <p>[16] (190)</p> <p>Productividad Mítica</p> | <p>I.- Parece que, puesto que hay un efecto (caída), tiene que haber una causa, y aquí se señala la velocidad. Para conseguir esta causa OSC descompone la velocidad y así preserva el Principio de Productividad.</p> <p>AP.- La velocidad tiene componentes. Una de ellas "influye" en la caída. Modelo coherente.</p> <p>A.- Parece que se asigna a la velocidad el papel de "causa de caída". Pero no parece la única. Cfr. A2[4](020) y [7](030).</p> |
|  <p>movimiento parabólico</p> <p>-> v inicial</p> |  <p>B1 B2 B3 B4 B5 B6</p> <p>\vec{F} \vec{v} F_i F_i \vec{v}</p> <p>m g F_r p p $p=mg$</p> <p>mov. <- bola <- velocidad inicial</p> | <p>[17] (210)</p> <p>Productividad Mítica</p> | <p>I.- Parece que OSC insiste en asignar a la velocidad el papel de una causa mítica.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • otros -> peso, gravedad, a. de la T. -> velocidad * caída |  | <p>[18] (210)</p>  <p>Constancia Mítica</p> | <p>AP.- Se explicita otro candidato causal que influye en la caída: el peso.</p> <p>I.- Parece claro que asigna a la velocidad el mismo papel que al peso, desde el punto de vista causal.</p> <p>AP.- Se explicita el modelo causal para el Episodio. Integra el explicitado en [7] y en [16]. El modelo es correspondiente y coherente.</p> <p>A.- El uso indistinto de "peso", "gravedad", "atracción de la T.", puede interpretarse como una comprensión indiferenciada de estos conceptos.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • mov. 4,5,6 * movimiento acelerado ◇ $V_6 > V_5 > V_4$ -> gravedad | <p>mov. acel <- bola <- gravedad</p> | <p>[19] (220)</p>  <p>Productividad</p> | <p>E.- La aceleración del mov. la causa la gravedad.</p> <p>I.- Parece que mantiene la concepción de que "la gravedad" es una fuerza.</p> <p>A.- En los episodios anteriores puede haberse referido sólo a las "causas de caída". Puede ser que en la caída sólo influya "la gravedad", o que se esté aplicando una "regla de simplicidad".</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • otros * caída -> v inicial * V_6 ◇ $> V_3, > V_6$ |  <p>V_6 <- bola <- V inicial</p> | <p>[20] (220)</p>  <p>Productividad Mítica</p> | <p>E.- Representación gráfica espontánea.</p> <p>AP.- Explicita más el modelo causal antes utilizado (A2.1[18](210), aplicándolo a otras circunstancias. El modelo es robusto.</p> <p>I.- OSC advierte que la V_6 no coincide "con el eje" (trayectoria). Y que Vinicial "está actuando".</p> <p>A.- Ha variado la dirección y magnitud, en relación a la representada en [16]. No explica por qué, aunque la actuación de "la gravedad" está implícita.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • F de la gravedad -> fuerza de atracción de la Tierra + hacia el suelo + perpendicular + la misma siempre ◇ a grandes d, disminuye + g |  | <p>[20i] (250)</p> | <p>E.- La fuerza de la gravedad es "la fuerza con que la Tierra atrae al cuerpo". Actúa siempre perpendicular al suelo. Es siempre la misma, salvo para grandes distancias. En este caso, disminuye con la distancia.</p> <p>A.- Representa espontáneamente lo que está llamando "fuerza de la gravedad" por "g".</p> |

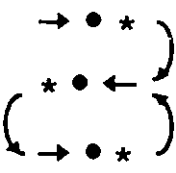
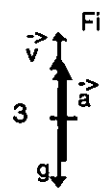
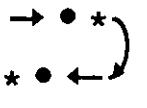
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|---|--|---|---|
| <p>• v crece</p> <p>-> Resultante Fg y v</p> | <p>v crece<- bola <- R</p>  | <p>[21] (270)</p>  <p>Productividad Mítica</p> | <p>AP.- v y Fg se componen para dar una "resultante". Coherente con A2.1[16], A2.1[20] y A2.1[20i].</p> <p>I.- Se componen en cuanto "causas". Esto no quiere decir que OSC piense en la velocidad en términos de "fuerzas", sino en términos de "causas".</p> |
| <p>* aceleración</p> <p>-> peso</p> <p>◊ a prop. al t y al s.</p> | <p>aceleración<- bola<- peso</p> | <p>[21i] (280)</p>  <p>Productividad</p> <p>¿Convención A?</p> | <p>I.- Parece que hay dos candidatos causales en pugna para explicar el comportamiento del Sistema en la caída: la "Resultante" anterior, y el "peso" ahora.</p> <p>AP.- Reconstrucción espontánea del modelo causal del Episodio. Recuerda el primitivo para A2. Cfr. A2[4](020) y [7](030).</p> <p>A.- No menciona la velocidad. ¿Convención Amplia?</p> |
| <p>• aceleración</p> <p>-> F gravedad</p> <p>+ constante</p> <p>* aceleración aumenta</p> <p>◊ a=incremento de v</p> | <p>aceleración-bola<- Fgravedad</p> | <p>[22] (280)</p>  <p>Productividad Convención A</p> | <p>AP.- Parece que OSC ratifica el modelo anterior, es decir, el expresado en A2[4](020) y [7](030).</p> <p>A.- En este caso sí que utiliza la Convención Amplia y el modelo no explica por qué la trayectoria se aleja de la vertical.</p> |
| <p>• Fg</p> <p>-> F cte. de atracción</p> <p>* aceleración crece</p> <p>+ es distinta en cada punto</p> | <p>Fgravedad -> bola -> aceleración crece</p> | <p>[22i] (280)</p>  <p>Constancia</p> | <p>E.- La aceleración es "distinta en cada punto" y "crece hacia abajo".</p> <p>I.- A pesar de que la expectativa de ENT es que OSC va explicitar qué hace crecer la velocidad, éste explica cómo crece la aceleración.</p> <p>AP.- La aceleración crece. Coherencia con A2[7](030): Parece confirmarse el tipo de razonamiento allí apuntado.</p> <p>A.- OSC considera el modelo como correspondiente.</p> |
| <p>• otros</p> <p>- masa</p> <p>◊ >m, > Fg</p> <p>+ g, m, Fg constantes</p> | | <p>[22ii](290)</p> | <p>AP.- Si la acel. crece y Fg=cte., OSC se ve obligado a buscar otro candidato causal para explicar lo primero, ya que parece mantener la creencia de que una causa constante produce un efecto constante. Y recurre a la masa como ese candidato causal.</p> <p>A.- OSC se da cuenta de que la "masa" no le sirve, ya que también es cte. El modelo causal para el Episodio permanece ambiguo.</p> |
| <p>• Trayectoria perpendic.</p> <p>-> gravedad perpendic.</p> <p>-> velocidad perpendic.</p> | <p>trayectoria<- bola</p>  <p>gravedad perpendic</p> <p>velocidad perpendic.</p> | <p>[23] (310)</p>  <p>Productividad Mítica</p> | <p>E.- Gravedad y velocidad perpendiculares al suelo.</p> <p>I.- Dice que la gravedad y la velocidad son fuerzas. Esto reforzaría el pensar que OSC conceptualiza la velocidad como una "causa" típica (aunque mítica).</p> <p>AP.- Coherente con A2.1 [18]. El modelo es correspondiente y coherente, y también sería robusto sin la rectificación de OSC para el modelo del Episodio A2.1 realizado en [21i](280).</p> <p>A.- Deslocalización de las "acciones" de "g" y de "v" en la representación gráfica.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Vi * Vi se anula -> componente Y | | <p>[24] (320)</p> <p>Heurística C Univocidad</p> | <p>E.- La única componente que actúa es la Y.</p> <p>AP.- OSC no sabe qué pasa con el valor de Vi en el momento en que la trayectoria se hace perpendicular y recurre a la Heurística Canónica para preservar la correspondencia del modelo y el Principio de Univocidad.</p> <p>I.- Velocidad "Y" tratada como una causa.</p> |
| <p><u>EPISODIOS A2.1 y A2.2</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fi + actúa hacia abajo * mov. descendente | <p><u>EPISODIO A2.2</u></p>  <p>Fi -> bola -> mov. descendente</p> | <p>[25] (330)</p> <p>→ • *</p> <p>Constancia Mítica</p> | <p>I.- Sólo se menciona Fi a instancias de ENT. Restringe su explicación al Episodio A2.2.</p> <p>AP.- Se reconstruye el modelo causal para el Episodio, integrándose el nuevo candidato causal. El modelo es correspondiente y coherente. Cfr. A[G1](150).</p> <p>A.- Deslocalización de Fi. ¿Quizás para no confundir el dibujo?</p> |
| <p><u>EPISODIO A2.1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fi en 4 y 5 + sí está • representación -> Fi * Trayectoria | <p><u>EPISODIO A2.1</u></p>  <p>Fi -> bola -> trayectoria</p> | <p>[26] (340)</p> <p>→ • *</p> <p>Constancia Mítica</p> | <p>E.- Fi, "la de la trayectoria".</p> <p>I.- Así como en A1 Fi parece que mantenía el movimiento, aquí mantiene la trayectoria, ya que ni Fg ni v parecen tener esta función.</p> <p>AP.- El modelo para Fi es coherente con todo lo visto hasta aquí. Robusto.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fi y Fg en caída -> Fi + resultante de Fg | | <p>[26] (340)</p> | <p>I.- Parece que OSC repite su concepción inicial de Fi relacionada con el "peso" Fg. Cfr. A1[12] (080).</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • composición de fuerzas Fi y Fg -> Fi + Resultante de fuerzas que actúan | | <p>[27] (350)</p> | <p>I.- La pregunta es clave para ver si Fi tiene para OSC la naturaleza de una fuerza convencional.</p> <p>AP.- Fi es una resultante de otras "fuerzas" ("g" y "v") que actúan. Es natural, ya que tiene que mantener la trayectoria. Y además esta concepción es coherente con la asignada en A1, de mantener el movimiento. El modelo para Fi es coherente y robusto.</p> <p>A.- Permanece la ambigüedad del cambio de dirección que experimenta Fi en el Episodio de caída.</p> |
| <p><u>EPISODIOS A2.1 y A2.2</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • actuación de todas + a la vez + simultán. | <p>varias causas -> bola -> caída</p> | <p>[28] (360)</p> <p>→ • *</p> <p>Constancia Mítica</p> | <p>E.- Todas actúan simultáneamente.</p> <p>I.- Aunque OSC ha hablado de diversos factores que actúan en el tramo vertical separadamente, parece que tiene una concepción unitaria.</p> <p>AP.- Modelo coherente y robusto.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|---|---|--|
| <u>COMIC B</u> | | | |
| <u>PRIMERA EXPLICACION ESPONTANEA</u> | | | |
| <u>EPISODIO B0</u> - hombre Δ arco • flecha + perdiz | | [1] (370) ¿Convención A? | I.- Episodio explícito. A.- No se menciona ningún agente causal. |
| ->lanzar • flecha * subida vertical | <u>EPISODIO B1</u> lanzar ->flecha->subida | [2](370) → • * Constancia ¿Mítica? | E.- El hombre es el agente causal exterior. I.- Modelo causal inicial simple: 1 causa->1 efecto. A.- No se sabe si la "acción" del hombre permanece en la subida. |
| ->Fgravedad • flecha * v=0 | <u>EPISODIO B'0</u> Fg ->flecha ->velocidad nula | [3](370) → • * Constancia | I.- Se hace mención de la fuerza de la gravedad sólo cuando es necesaria para la acción causal. Hasta ahora ha permanecido implícita. Quizá para mantener la simplicidad del modelo causal inicial: 1 causa -> 1 efecto |
| * caída ->gravedad, Fgravedad | <u>EPISODIO B2</u> caída<- flecha<- Fgravedad | [4] (380) * • ← Productividad | I.- Sigue utilizando indistintamente "gravedad" y "fuerza de la gravedad", aunque parece que OSC cree más preciso el segundo término. |
| • gráfica + ascender + v=0 + da vuelta + baja + coinciden + 1, 2, 3, 4 | <u>EPISODIOS B</u> <p>v=0 4 ↑ ↓ 1 3 ↑ ↓ 2 2 ↑ ↓ 3 1 ↑ ↓ 4</p> | [G1] (390) | E.- La trayectoria de subida y bajada coinciden. E.- En el punto más alto, la velocidad es cero. |

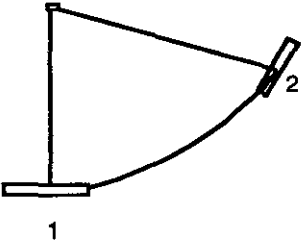
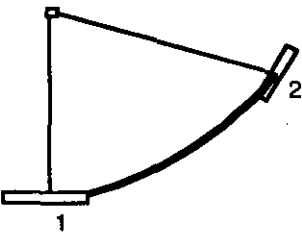
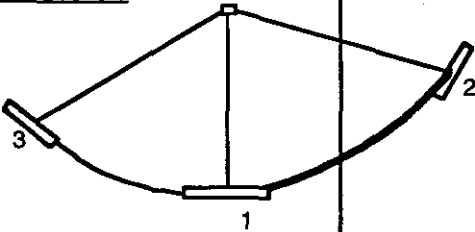
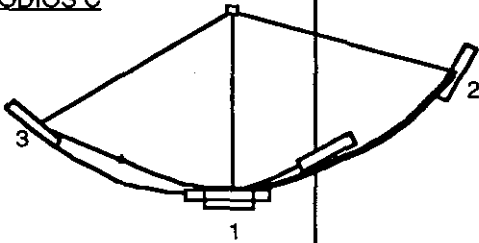
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|---|---|---|--|
| SEGUNDA EXPLICACION ESPONTANEA | | | |
| <p><u>EPISODIO B0</u></p> <p>* disparo ->Fcuerda Δ cuerda + Fcuerda ≡ ≡Tensión ◇>Tensión, >v</p> | <p>disparo<-flecha<-Fcuerda</p> | <p>[5] (410)</p> <p>★ ● ←</p> <p>Productividad Convención A</p> | <p>I.- La "fuerza de la cuerda" es la que le comunica el hombre. Cfr. B0[1](370) y B1[2](370). La cuerda es un conducto.</p> <p>I.- La tensión de la cuerda es la fuerza de la cuerda sobre la flecha.</p> <p>A.- En este Episodio no se menciona la gravedad, aunque OSC sabe que existe.</p> |
| <p><u>EPISODIO B1</u></p> <p>+ igual que en la bola ->Fgravedad + negativa ● flecha * velocidad "decrementa"</p> | <p>Fgravedad ->flecha ->velocidad decr.</p> | <p>[6](410)</p> <p>→ ● ★</p> <p>Constancia ¿Mítica? Localidad</p> | <p>I.- OSC realiza una analogía con A2.</p> <p>E.- Ahora ya actúa la gravedad. Es necesaria para la acción causal.</p> <p>AP.- La velocidad decrece por la acción de la gravedad. Coherencia con B2[4](380).</p> <p>A.- Es ambigua la "acción" de la tensión en la subida.</p> |
| <p><u>EPISODIO B'0</u></p> <p>->Fgravedad * v=0 + punto máximo</p> | <p>Fgravedad->flecha->v=0</p> | <p>[7] (420)</p> <p>→ ● ★</p> <p>Constancia</p> | <p>I.- Coherente con B'0[3](370).</p> |
| <p><u>EPISODIO B2</u></p> <p>* cae ->Fgravedad * adquiere velocidad ◇ Vsa = Vsu</p> | <p>Fgravedad->Flecha->velocidad</p> | <p>[8](420)</p> <p>→ ● ★</p> <p>Constancia</p> | <p>I.- "Caer" indica el cambio de episodio.</p> <p>I.- "Adquiriendo una velocidad" parece indicar "velocidad creciente", hasta que v=v de salida.</p> <p>AP.- Elementos no explicitados hasta ahora: Vsa=Vsu.</p> <p>A.- No se menciona Fi (Cfr. A1 [14] y [15]). No hace falta.</p> |
| TEACHBACK | | | |
| <p><u>EPISODIO B0</u></p> <p>● T y g * Vinicial ->Tensión Δ cuerda</p> | | <p>[9] (430)</p> <p>Convención A</p> <p>Localidad</p> | <p>I.- Aunque ENT sugiere que actúa la aceleración de la gravedad, OSC dice que no. Sólo actúa "lo que le comunica esa velocidad inicial".</p> <p>I.- A pesar de la sugerencia "equivocada" (actúa g) del entrevistador, OSC mantiene que sólo actúa la tensión de la cuerda cuando va a salir disparado. Convención Amplia.</p> |

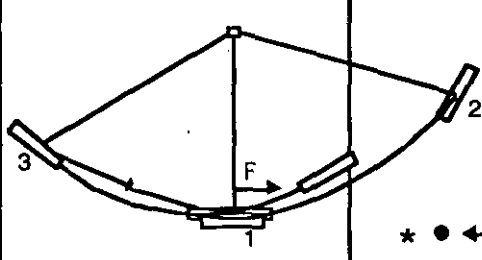
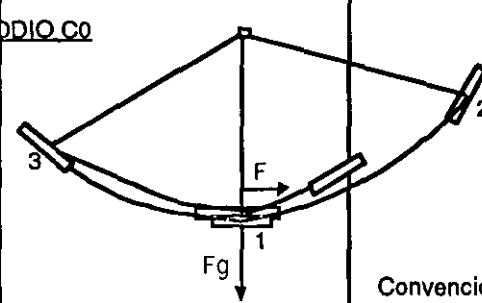
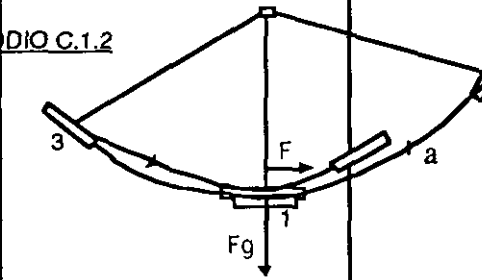
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|-----------------------|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • otros ->empujar ->lanzar Δ mano ->F, lo importante | | [10] (440) | <p>E.- Lo realmente importante: una fuerza. Prototipo de candidato causal.</p> <p>I.- Otros candidatos causales: empujarla o lanzarla con la mano.</p> <p>I.- La mano es un conducto.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • sólo tensión Δ Tensión cuerda + rozamiento- -flecha-arco + despreciar + perpen- -dicular - masa + despreciar ◇ >m, >peso, < V_I | | <p>[11] (450)</p> <p>Convención A</p> <p>Condicionabilidad</p> | <p>AP.- Cita el rozamiento, pero lo desprecia. Parece que OSC incorpora aquí elementos "aprendidos" en A0. Cfr. A0[5](030), [10](050). Pero mantiene la Convención Amplia.</p> <p>A.- Parece que la "tensión" de la cuerda juega el mismo papel que la tabla en el Comic A. "Está apoyada la flecha en el arco", expresa la condición para que se dé la acción causal. Es un CONDUCTO.</p> <p>A.- Explicita que "la masa" se puede despreciar. Si no se despreciara influiría en el peso y la velocidad.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • peso, masa + peso + masa + peso relac. con grav. + p ≡ fuerza | | <p>[11i] (460)</p> <p>¿Convención A?</p> | <p>AP.- OSC reconstruye el modelo para B0, que ahora incluye el "peso". El modelo es coherente.</p> <p>A.- La "acción" del peso en B0 no se explicita. No está claro si retira o no la Convención Amplia, ya que el "peso" puede "estar" y no "actuar".</p> |
| <p><u>EPISODIO B1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • subida en 3 ->Fgravedad + velocidad + g + v | | [12] (490) | <p>E.- Fgravedad, una vez más representada con una g en la gráfica.</p> <p>A.- Es claro que Fgravedad es un agente causal, pero no se sabe si v es también un agente causal o un atributo, ya que no se explicita el modelo causal.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • otros * velocidad * aceleración negativa | | [12i] (500) | <p>I.- Se pregunta abiertamente por causas: ¿qué hace que suba la flecha? Se busca ver si v es un agente causal o un atributo.</p> <p>A.- No expresa relación causal alguna. Debe estar revisando su modelo, pues expresa otro atributo.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • otros + no | | [12ii] (510) | <p>A.- No expresa ninguna relación causal para la subida. Parece que sigue la revisión del modelo.</p> |

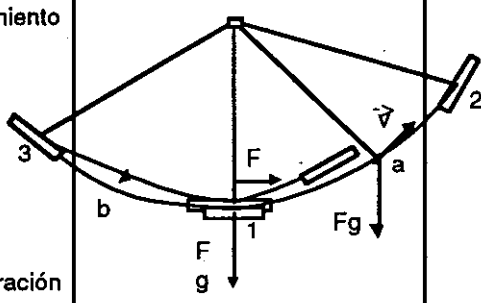
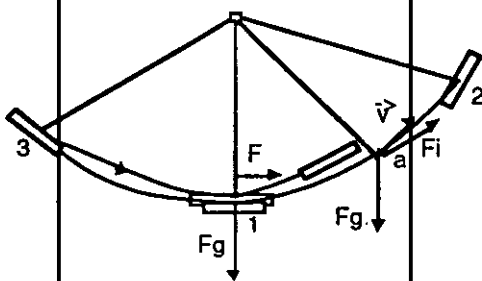
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • velocidad ->Finicial | velocidad<-flecha<-Finicial | [13] (510) * • ← Productividad ¿Mítica? | A.- No está claro si se refiere al momento inicial de la subida o al punto indicado en el dibujo, en que se trata de explicar qué mantiene el movimiento una vez iniciado. |
| <ul style="list-style-type: none"> • actuación en 3 * movimiento ->Finercia ◊ Fi cada vez menor + como antes (A1) | 1º Finicial->flecha->movimiento Finercia<-flecha<-velocidad Finercia->flecha->movimiento | [14] (520)  Constancia Asimetría Mítica | I.- La "fuerza que ha actuado al principio" actúa durante la subida haciendo que se mueva. Y parece que a esto es lo que OSC llama "Finercia". Esta fuerza es menor cada vez. En este sentido recuerda a la "fuerza suministrada". Comparar con A1[14](120). E.- OSC hace relación explícita a A1. AP.- Primera vez que se incorpora Fi al modelo causal explicativo del comportamiento del Sistema. Se incorporan en la reconstrucción del modelo los diferentes elementos que hasta ahora habían aparecido dispersos, utilizando lo aprendido en A1[15]. Modelo Robusto. I.- Cadena causal implícita. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fi / fuerza + Fi es una fuerza • rep. gráfica + dirección, la de v. + disminuye con v |  | [14i](520) | E.- La inercia es una fuerza convencional: "Es igual". Tiene la misma dirección que v y disminuye con ella. I.- La conceptualización de Fi es la misma que la expresada en el Sistema A. |
| EPISODIO B'0 <ul style="list-style-type: none"> • Fi en 4 * v=0 * Fi=0 ->Fgravedad, igual | Fgravedad->flecha->v=0 Fi=0 | [15] (530)  Cadena Mítica Asimetría | I.- Cadena causal implícita. AP.- Reconstrucción del modelo causal explicitado en B'0[7]. Se ha incorporado la Fi, aprendida en B1[14]. Modelo coherente y robusto. A.- Sigue utilizando Fgravedad y gravedad indistintamente. |
| <ul style="list-style-type: none"> • caída -> Fgravedad | caída<- flecha<-Fgravedad | [16] (530) * • ← Productividad | E.- Le hace caer la fuerza de la gravedad. A.- No es obvio que lo que le hace caer mantenga la caída. |
| EPISODIO B2 <ul style="list-style-type: none"> • otros + F gravedad + relación con m y p + g = cte. + m = cte. + fuerza = cte. | | [16i] (540) Heurística C Univocidad | E.- Fgravedad relacionada con m y con g. Ambas constantes, luego Fgravedad constante. I.- El entrevistador no menciona Fi, para ver si espontáneamente se le asigna algún papel. I.- Hay un solo efecto, luego una sola causa. OSC recurre a la Heurística Canónica, pues no sabe qué papel puede jugar en su modelo causal el otro candidato causal existente, Fi, que, por otra parte, no es necesario para dar cuenta del comportamiento del Sistema en este Episodio. En A2 era necesario para mantener la trayectoria (Cfr. A2. 2[25] y A2.1[26]). |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|---|---|--|
| <div>🍏 bajada en 2</div> <div>* v aumenta ->Fgravedad</div> | Vaumenta<-flecha<-Fgravedad | <div>[17] (560)</div> <div>$\star \bullet \leftarrow$</div> <div>Productividad Localidad</div> | <div>E.- La velocidad aumenta y sigue actuando la fuerza de la gravedad.</div> <div>I.- Aquí ya no se habla de Fi. Ya no hace falta para ninguna acción causal. Localidad.</div> |
| <div>🍏 v aumenta</div> <div>* aceleración ->Fgravedad</div> | aceler.<- flecha<- Fgravedad | <div>[18] (570)</div> <div>$\star \bullet \leftarrow$</div> <div>Productividad</div> | <div>E.- V crece porque existe una aceleración.</div> <div>A.- En el Sistema A la "aceleración" crecía en la caída. Cfr. A2.1[22i](280).</div> |
| <div>🍏 aceleración</div> <div>+ aceleración aumenta</div> | | <div>[18i] (570)</div> | <div>E.- La aceleración aumenta. Es "positiva".</div> <div>A.- OSC parece dudoso, y la frase es ambigua.</div> |
| <div>🍏 aceleración en 2 y 4</div> <div>+ aceleración la misma + velocidad aumenta</div> | | <div>[18ii] (580)</div> | <div>AP.- Hay una reconstrucción del modelo causal explicitado en A2. Ahora la aceleración es la misma y lo que cambia es la velocidad. El modelo es correspondiente y coherente.</div> <div>A.- Habrá que ver si este modelo es robusto, ya que la afirmación puede significar que OSC acepta que el efecto de la fuerza constante es una aceleración constante, o que una fuerza constante produce un efecto variable.</div> |
| <div>🍏 otros</div> <div>+ No hay más</div> | | <div>[19](580)</div> | <div>E.-No hay más elementos que actúen en B2.</div> <div>A.- Sigue sin mencionar Fi en la bajada.</div> |
| <div>🍏 hoyo</div> <div>+Sigue la misma trayectoria</div> | <div>$v=0$</div> <div></div> | <div>[G2] (580)</div> | <div>I.- Se le pide que amplíe la trayectoria de bajada, para ver si queda algún Episodio implícito. Parece que no.</div> |

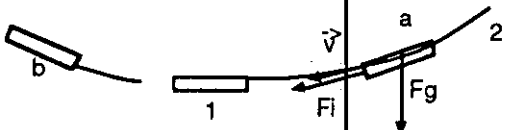
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|---|-----------------------------|--|--|
| COMIC C PRIMERA EXPLICACION ESPONTANEA EPISODIO C0 • niño Δ columpio | | | |
| | | [1] (610) ¿Convención A? | I.- Episodio explícito. I.- No se mencionan candidatos causales ni acciones causales. |
| EPISODIOS C - hermano -> Fhermano * aceleración | Fhermano->niño->aceleración | [2](610) → • * Constancia ¿Mítica? | I.- Modelo causal inicial simple: 1 causa -> 1 efecto I.- El comportamiento del Sistema, muy simplificado. Posiblemente por superposición de varios modelos causales. A.- No se describe el movimiento, ni cómo se mantiene. |
| EPISODIO D0 -> Fhermano + mayor -> Fcentrífuga ≡ Finercia + mov. circul. Δ eje -> Fagarrar ◇ Fi>Fagarrar Δ soltarse * v salida | | [3] (620) Constancia Mítica Condicionalidad | E.- Modelo causal inicial complejo, muy explicitado, para D0. E.- Fcentrífuga es la misma Finercia. I.- "Fh, mayor" produciendo una Fuerza centrífuga mayor, es condición para la subsiguiente acción causal (salir despedido). I.- El eje del columpio es un CONDUCTO. Es una condición estructural para que el movimiento sea circular. A.- No se menciona la cuerda (parte de la estructura del sistema que determina el camino de la acción causal). |
| EPISODIOS D + Trayectoria parabólica + como antes (Sistema A) | | [4] (630) | E.- Trayectoria parabólica. "Igual que antes". E.- Analogía explícita con los Episodios de caída del Sistema A. A.- No se especifican modelos causales. Permanecen implícitos. |
| PARTE C TEACHBACK • parabólica + No perpendicular hacia arriba ni hacia abajo + curvilínea • cómo lo sabe + Experiencia + una piedra | | [5] (640) | E.- "parabólico" significa "curvilínea": "No va ser recta". E.- Lo sabe por experiencia. I.- Poca asimilación de lo aprendido en clase. |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|--|---|--|
| <p>🍏 trayectoria</p> <p>+ 1, 2 + en 2, v = 0</p> | <p><u>EPISODIO C1</u></p>  | <p>[G1] (650)</p> | <p>I.- OSC dibuja con lentitud. Tiene que ser cuestionado continuamente.</p> <p>I.- Aunque se dibuja la cuerda, no se menciona. No tiene papel causal.</p> <p>I.- El rectángulo parece significar el asiento del columpio.</p> |
| <p>* bajar ->Fgravedad</p> | <p><u>EPISODIO C2</u></p> <p>bajar<- niño<-Fgravedad</p> | <p>[6] (650)</p> <p>★ ● ← Productividad</p> | <p>A.- No se describe el movimiento, ni cómo se mantiene.</p> <p>A.- No prosigue espontáneamente el dibujo.</p> |
| <p>🍏 trayectoria</p> <p>+ la misma</p> |  | <p>[G2] (660)</p> | <p>E.- La trayectoria de bajada coincide con la de subida.</p> <p>A.- No prosigue espontáneamente el dibujo.</p> |
| <p>🍏 trayectoria</p> <p>+ 3</p> | <p><u>EPISODIO C'1</u></p>  | <p>[G3](660)</p> | <p>E.- Sigue hacia arriba.</p> <p>I.- No prosigue el dibujo espontáneamente. Hay que animarlo a dibujar.</p> |
| <p>🍏 trayectoria</p> <p>+ vuelve a bajar + subir + cada vez menos + se para del todo en 1</p> | <p><u>EPISODIOS C</u></p>  | <p>[G4] (660)</p> | <p>I.- De nuevo se queda parado y hay que animarlo a seguir dibujando.</p> <p>E.- A medida que oscila sube cada vez menos.</p> <p>I.- La representación gráfica es coherente con lo que OSC va expresando.</p> |

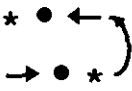


| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|---|---|--|---|
| <p><u>EPISODIO C1</u></p> <p>● empezar a moverse</p> <p>-> fuerza de Zipi</p> <p>● representación</p> <p>+ F</p> |  <p>movimiento<- niño<- Fuerza</p> | <p>[7] (670)</p> <p>Productividad</p> <p>Convención A</p> <p>* ● ←</p> | <p>I.- No se cita la gravedad. No hace falta para dar cuenta del movimiento. Convención Amplia. Cfr. C2[G1](650).</p> <p>A.- No se explicita cómo es el movimiento ni cómo se mantiene.</p> |
| <p>● otros en 1</p> <p>* movimiento</p> <p>-> Fgravedad</p> | <p>movimi.<- niño</p> <p>F</p> <p>Fgravedad</p> | <p>[7i] (670)</p> <p>Productividad</p> <p>* ● ↙</p> | <p>AP.- OSC incorpora la Fgravedad al Episodio C1. Se reconstruye el modelo incorporando lo aprendido en C[G4](660). Ahora, para que el modelo sea correspondiente, necesita un candidato causal que dé cuenta de la ralentización del material en la subida (Fg).</p> <p>A.- Queda ambigua la forma de actuar Fgravedad.</p> |
| <p>● en 1</p> <p><u>EPISODIO C0</u></p> <p>* reposo</p> <p>+ Fg</p> <p>● otros</p> <p>+ no</p> |  <p>Convención A</p> <p>Localidad</p> | <p>[8](680)</p> | <p>I.- Aunque ENT pregunta por el comienzo del movimiento en 1, OSC responde como si el Sistema estuviera en reposo.</p> <p>E.- Fg no actúa, sino que "favorece el reposo". Explicitación de la Convención Amplia. Localidad.</p> <p>I.- El efecto "reposo" no es un cambio "positivo" en el Sistema, por lo que no se considera un verdadero efecto.</p> |
| <p><u>EPISODIO C1</u></p> <p>● mov. en a</p> <p><u>EPISODIO C.1.1</u></p> <p>+ De 1 a a más rápido</p> <p><u>EPISODIO C.1.2</u></p> <p>+ De a a 2 más lento</p> <p>+ v crece de 1 a a</p> <p>+ v decrece de a a 2</p> |  | <p>[9] (690)</p> | <p>AP.- En C1 OSC también distingue dos Episodios, el C.1.1., donde la velocidad crece, y el C.1.2, donde la velocidad decrece.</p> <p>AP.- Reconstrucción del modelo causal explicitado en C1. Parece incorporar al mismo la estructura del modelo inicial utilizado para dar cuenta del comportamiento del sistema en A1[2] y [3](010).</p> |

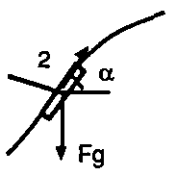
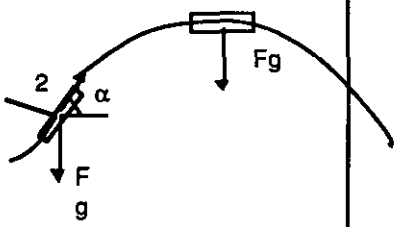
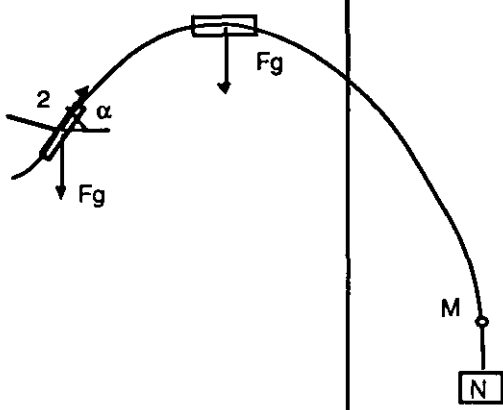
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • otros + trayectoria Δ cuerda Δ asiento fijo Δ no soltarse | | <p>[9i] (690)</p> <p>Condicionalidad</p> | <p>I.- Se explicitan otros CONDUCTOS del modelo. Sólo influyen en la determinación del camino que sigue la acción causal.</p> |
| <p><u>EPISODIO C1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • cuerda / movimiento * aceleración -> velocidad -> Fg + v contra Fg • otros + no |  <p>aceleración <- niño</p> <p>← Fg</p> <p>← velocidad</p> | <p>[9ii] (700)</p> <p>* • ←</p> <p>Productividad Mítica</p> | <p>I.- Implícitamente, ENT está ofreciendo a OSC la oportunidad de hablar de la tensión de la cuerda. OSC no contesta a si la cuerda influye en el movimiento, sino a qué cosas influyen en el movimiento. No se le ocurre que la cuerda pueda influir causalmente.</p> <p>AP.- Parece que hay una reconstrucción del modelo causal para C1, que ahora está constituido por un solo Episodio. Posiblemente se ha dado cuenta de la falta de correspondencia existente al distinguir en C1 dos Episodios (Cfr. [9](690)). El modelo es ahora correspondiente y coherente.</p> <p>I.- La velocidad está actuando "contra" la fuerza de la gravedad. Parece conceptualizada también como un candidato causal. La representación gráfica es clara.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • v en a -> F + del principio | <p>velocidad <- niño <- F</p> | <p>[10] (700)</p> <p>* • ←</p> <p>Productividad ¿Mítica?</p> | <p>E.- La velocidad en <u>a</u> es consecuencia de la fuerza inicial.</p> <p>A.- No queda claro si la fuerza inicial sigue "actuando" en <u>a</u> para mantener el movimiento.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • v, movimiento -> velocidad -> Finercia + también... (Sis. A y B) • representar |  <p>velocidad <- niño <- F</p> <p>velocidad -> niño -> Fi</p> <p>movimien. <- niño <- Fi</p> | <p>[11] (710)</p> <p>* • ←</p> <p>Productividad Asimetría Mítica</p> | <p>E.- Es la fuerza de inercia, producida por la velocidad, la que "empuja" al cuerpo.</p> <p>I.- Alusión a los modelos causales explicitados para los Sistemas A y B, donde intervenía Fi.</p> <p>AP.- Se explicita por primera vez en el Sistema la Fi como candidato causal probable. Es necesaria para dar cuenta del movimiento de subida, ya que la velocidad no es una "fuerza".</p> <p>I.- La cadena causal es implícita.</p> <p>AP.- Reconstrucción del modelo causal, que ahora incorpora lo aprendido en otros Sistemas (Cfr. A1[15], y B1[13] y [14]). El modelo causal es coherente, correspondiente y robusto.</p> <p>I.- La utilización del Principio de Asimetría hace que OSC no caiga en la confusión causa-efecto.</p> |

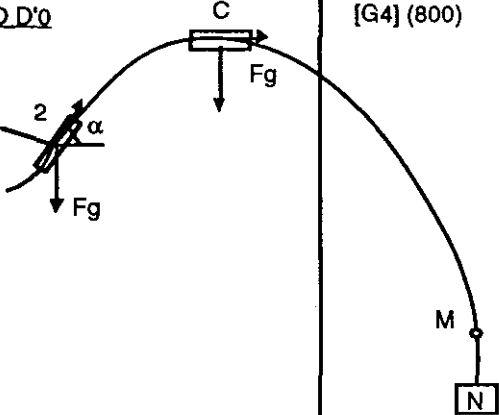
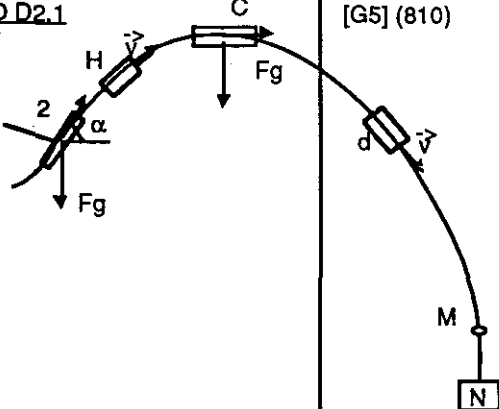
| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|---|---|---|
| <p>🍏 cuerdas y otros en a</p> <p>->Fg</p> <p>->Fi</p> <p>+ dos fuerzas</p> | <p>movimiento<-niño</p> <p>velocidad</p> | <p>[12] (710)</p> <p>Productividad Mítica Asimetría</p> | <p>I.- Cadena causal implícita.</p> <p>I.- Incluso cuando ENT sugiere la posible acción de "la cuerda", no la considera. Es un conducto.</p> <p>E.- OSC es explícito en este momento: los únicos agentes causales (las únicas que "influyen") son "la fuerza de la gravedad" y la "fuerza de inercia".</p> <p>I.- La concepción de Fi en este Episodio parece clara: una fuerza convencional producida por v. Tiene las mismas características que una "fuerza suministrada", sólo que depende de la fuerza inicial indirectamente, a través de la velocidad.</p> |
| <p><u>EPISODIO C'0</u></p> <p>🍏 en 2</p> <p>* v=0</p> <p>->Fg igual</p> <p>->Fi = 0</p> <p>+ comienza bajada</p> | <p>Fg->niño->v=0</p> <p>Fi = 0</p> | <p>[13](720)</p> <p>Constancia Mítica Asimetría</p> | <p>I.- Cadena causal implícita.</p> <p>AP.- Primera explicitación del modelo causal del Episodio. Es correspondiente, coherente y robusto. Cfr. C1[11] y [12] y B'0[15](530).</p> |
| <p><u>EPISODIO C2</u></p> <p>🍏 movimiento</p> <p>* mov. crece</p> <p>->Fg</p> | <p>mov. crece<- niño<- Fg</p> | <p>[14](720)</p> <p>Productividad Localidad</p> | <p>I.- En la bajada sólo se menciona Fg: se considera un solo efecto, luego sólo se necesita una causa.</p> <p>I.- No se menciona Finercia. No hace falta para dar cuenta de la causalidad del Sistema. Localidad.</p> |
| <p>🍏 en a</p> <p>* mov. crece</p> | | <p>[14i] (720)</p> | <p>I.- Se quiere ver si OSC mantiene también dos Episodios en la bajada. Parece que no.</p> |
| <p><u>EPISODIO C'1</u></p> <p>* subida</p> <p>+ en b</p> <p>* v</p> <p>◇ menor</p> <p>->Fg</p> | <p>v menor<- niño<- Fg</p> | <p>[15](720)</p> <p>Productividad Localidad</p> | <p>AP.- Primera explicitación espontánea del modelo para la subida, C'1. El modelo es correspondiente y coherente.</p> <p>I.- Espontáneamente, Fi no se menciona. Localidad.</p> <p>A.- No se explicita el candidato causal que mantiene el movimiento, sólo el que lo hace disminuir.</p> |

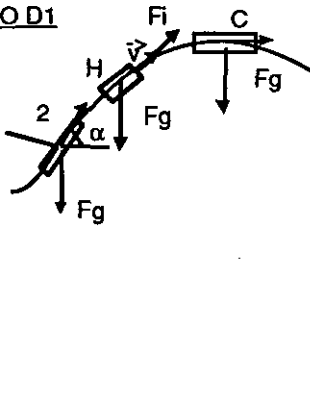
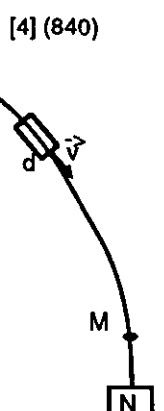
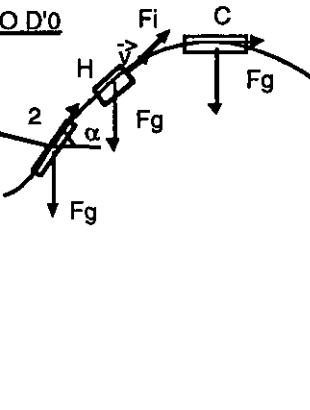

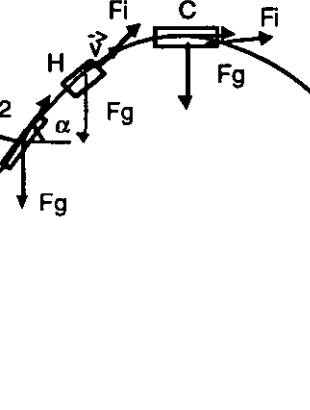

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|--|--|--|
| <div>EPISODIO C⁰0</div> <div>v=0</div> | <div>v=0<- niño<- Fg</div> | <div>[16] (730)</div> <div><div><div>★ ● ←</div></div><div>Productividad</div></div> | <div>E.- "volvería a ocurrir lo mismo": refiriéndose a lo ocurrido en C⁰0.</div> |
| <div>EPISODIO C²2</div> <div>∅ v 1> v3</div> | <div>v crece<-niño<-Fg</div> | <div>[17] (730)</div> <div><div><div>★ ● ←</div></div><div>Productividad</div></div> | <div>E.- En la bajada, v crece.</div> <div>I.- Aunque no se explicita el mecanismo por el que crece v en la bajada, implícitamente la causa es Fg.</div> |
| <div>EPISODIO C0</div> <div>* v mayor</div> | <div>v mayor<- niño<- Fg</div> | <div>[18] (730)</div> <div><div><div>★ ● ←</div></div><div>Productividad</div></div> | <div>I.- No se menciona en este punto ningún agente causal ni su relación con el valor del atributo. Están implícitos.</div> |
| <div>EPISODIO C1</div> <div>* v menor</div> <div>->Finercia</div> <div>* subir</div> | <div>Finercia->niño->subir</div> | <div>[19] (730)</div> <div><div><div>→ ● ★</div></div><div>Constancia Mítica Localidad</div></div> | <div>I.- Fg no da razón de la subida. Por lo tanto no se menciona. Se menciona Fi, para dar razón de la subida. El modelo causal es "aprendido" de C1[12](710).</div> |
| <div>EPISODIOS C</div> <div>->Finercia</div> <div>* bajada</div> <div>EPISODIO C0(F)</div> <div>* v = 0</div> | | <div>[20] (740)</div> <div><div>Heurística C Univocidad</div></div> | <div>I.- Termina describiendo el movimiento como mantenido por Fi, hasta que se hace cero.</div> <div>I.- No explica por qué llega a pararse. Pero tiene que ser así para que el modelo sea correspondiente y se conserve el Principio de Univocidad. Para conseguirlo recurre a la Heurística Canónica.</div> <div>AP.- Es notable la seguridad de OSC en esta descripción (del [15] al [20]) comparada con las iniciales (del [1] al [6]).</div> |
| <div>EPISODIO C2</div> <div>● bajada</div> <div>+ dibujo</div> <div>● cuerpo-Zipi</div> <div>★ \vec{v}</div> <div>->Fg</div> <div>->Fi</div> | <div></div> | <div>[21](740)</div> | <div>I.- Se abstrae el sistema: no se habla de columpio ni de niño, sino de "cuerpo".</div> <div>AP.- Se explicita por primera vez Fi en este Episodio. Esto supone la reconstrucción del modelo causal para la bajada. Cfr. C2[14](720).</div> <div>I.- En la bajada no coinciden v y Fi en dirección. Fg deslocalizada.</div> <div>A.- El modelo no se explicita con claridad.</div> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fi * Fi ->Fg * bajada | <p>Fi<- cuerpo<- Fg bajada</p> | <p>[21i] (740)</p> <p>Productividad Mítica Asimetría</p> | <p>E.- La acción de Fg hace surgir Fi. I.- Cadena causal explícita . A.- Parece que en la bajada Fg es un candidato causal más probable que v para producir Fi. Hay que comprobarlo.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ->Fg * movimiento * velocidad ->Fi | <p>Fg->cuerpo->movimiento Fi<-cuerpo<-velocidad Fi->cuerpo->movimiento</p> | <p>[22] (750)</p> <p>Productividad Mítica Asimetría</p> | <p>I.- OSC sigue la explicación espontáneamente. AP.- Recupera para el modelo causal la estructura semejante a la explicitada en A1[14] y [15]; B1[14], C1[11] y C'0[13]. Además el modelo de "bajada" es coherente con A2[25] - A2[28]. Modelo Robusto.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • subida ->Fi • representar + Fi (en 1) • rep. en b ->Fi + direcc. del movimiento | <p>subida<- cuerpo<- Fi</p> <p>EPISODIO C'0 EPISODIO C'1</p> | <p>[23] (760)</p> <p>Productividad Mítica Convención A</p> | <p>AP.- Se explicita por primera vez la actuación de Fi en esta Episodio. Coherente. A.- Fi no es horizontal en C'0. I.- Se confirma así la sospecha de que OSC considera a Fi como "la de la trayectoria" y, en este caso, la responsable del movimiento de subida. A.- No menciona la actuación de Fg. No es necesaria para dar cuenta de la acción causal.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fg en 1 + actúa • actuación + no juega ningún papel | | <p>[24] (760)</p> <p>Convención A</p> | <p>E.- Explicita la Convención Amplia: Fg actúa, pero "no juega ningún papel". I.- El "papel" lo juega Fi.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ->Fg * tender al reposo * tender a caer Δ cuerda | | <p>[24i] (760)</p> <p>Convención A Condicionabilidad</p> | <p>I.- La explicación prosigue espontáneamente. AP.- OSC argumenta del mismo modo que argumentó en C0[8](680). Se trata de un aprendizaje, ya que allí la situación era estática y aquí dinámica. El modelo para la actuación de Fg es robusto. I.- Parece que Fg tiene dos funciones, según los casos: una, mantener o hacer tender al reposo; y otra, hacer caer hacia el suelo. En este caso, la cuerda impide que caiga hacia el suelo (condición).</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|--|--|--|--|
| <p>🍏 parada final</p> <p>->Froza. aire - aire * resul- tantes=0 * parada</p> | <p>EPISODIO C0(F)</p> <p>1º) Parada</p> <p>Froza.->cuerpo->result. = 0</p> | <p>[25] (770)</p>  <p>Productividad Localidad</p> | <p>E.- Cadena causal explícita.</p> <p>I.- El aire es un COMPONENTE del entorno del Sistema que ha permanecido implícito hasta que ha sido necesario para explicar el comportamiento del mismo.</p> <p>AP.- Es la primera vez que se menciona "la fuerza de rozamiento con el aire" en este Sistema. Al intruducirlo en el modelo causal, OSC retira la ambigüedad que suponía para el modelo explicativo la Heurística Canónica. Cfr. C0(F){20}(470).</p> |
| <p>🍏 Fr, pararse</p> <p>+ despreciar</p> <p>->Frozam.eje - eje columpio</p> | | <p>[26] (770)</p> <p>Convención A Localidad</p> | <p>E.- Aunque ENT. está preguntando por la anterior Fr, ahora OSC especifica otra Fr: la producida por el eje del columpio.</p> <p>AP.- El eje se menciona en [3] como un CONDUCTO. OSC reconoce que podría actuar como un COMPONENTE.</p> <p>A.-Parece que hace la convención de que aunque "esté" no "actúa".</p> |
| <p>🍏 en otros momentos</p> <p>->Fr eje ->Fr aire + cuerpo en movimiento - aire</p> | <p>Fr aire</p> <p>Fr eje</p> <p>cuerpo-> movimiento, parada</p> | <p>[27] (770)</p>  <p>Constancia</p> | <p>I.- ENT. pregunta sólo por una Frozamiento. OSC contesta con dos.</p> |
| <p>🍏 no las citó antes</p> <p>+ no ha venido a cuento</p> <p>+ no se tienen en cuenta</p> | | <p>[27i] (780)</p> <p>Convención A</p> | <p>AP.- Explicitación de la Convención Amplia utilizada por OSC en relación al rozamiento en el sistema C, parte C.</p> |
| <p>🍏 actuación de todos</p> <p>+ juntos + simultáneos</p> | <p>varias causas->cuerpo->efectos</p> | <p>[28] (780)</p>  <p>varias->varios</p> | <p>I.- Parece que OSC, a pesar de haber dado cuenta de manera casi secuencial de los elementos causales del modelo, no los tiene separados, sino integrados en modelos más complejos que los que explicita.</p> |
| | | | |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUEDADES (A) |
|--|--|--|---|
| PARTE D | | | |
| PRIMERA EXPLICACION ESPONTANEA | | | |
| EPISODIOS D0-D1 🍏 gráfica + igual que bola + dirección, α + V salida + V en 2 ◊ $V_s = V_2$ + punto de separación |  | [G1] (790) Convención A | E.- "Igual que en la bola". Analogía con al Comic A. I.- Aunque en el dibujo se encuentra representado Fg en el punto de la separación, no la menciona. A.- No se explicita ningún agente causal. |
| ->Fg * bajada | EPISODIOS D'0 - D2  Fg ->niño ->bajada | [G2] (790) → • * Constancia Localidad | E.- Explicita Fg actuando a partir de D'0. A.- No dibuja más que una parte pequeña de la trayectoria de bajada. |
| 🍏 hoyo + como bola + t grande + perpendi- cular + M - N | EPISODIOS D2.1 - D2.2  M N | [G3] (800) Condicionabilidad | E.- Hace relación al Comic A. Analogía. E.- Si t suficientemente grande (condición), trayectoria perpendicular. AP.- Según la representación gráfica, en la bajada hay dos Episodios, D2.1 y D2.2. Recupera elementos del Comic A. el modelo de trayectoria es robusto. |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|--|---|--|---|
| <p>EPISODIO D'0</p> <p>🍎 puntos significativos</p> <p>+ C</p> <p>+ inicio descenso</p> <p>+ v paralela suelo</p> |  | <p>[G4] (800)</p> | <p>E.- v dibujada a partir del centro del cuerpo.</p> |
| <p>EPISODIO D2.1</p> <p>🍎 puntos d, H</p> <p>+ d</p> <p>* velocidad, v →</p> <p>+ H</p> <p>+ a favor del movimiento</p> <p>+ no justo en la línea</p> |  | <p>[G5] (810)</p> | <p>E.- La velocidad no está representada "sobre" la trayectoria. Sería "a favor del movimiento".</p> <p>A.- Dibuja V en d y H a partir de la superficie del cuerpo.</p> |
| <p>TEACHBACK</p> <p>EPISODIO D0</p> <p>🍎 disparado</p> <p>Δ se suelta</p> | | <p>[1] (820)</p> <p>¿Convención A?</p> <p>Condicionalidad</p> | <p>I.- OSC enuncia una condición para que salga disparado: que se suelte.</p> <p>A.-No cita ningún agente causal.</p> |
| <p>🍎 otros</p> <p>+ v suficiente</p> | | <p>[1](820)</p> <p>Condicionalidad</p> | <p>I.- Otra condición para que salga disparado.</p> <p>A.-No cita ningún agente causal.</p> |
| <p>🍎 otros</p> <p>-> F grande</p> <p>◇ > F, > v</p> | <p>v grande<- cuerpo<- F grande</p> | <p>[2] (830)</p> <p>* ● ←</p> <p>Productividad</p> <p>¿Mítica?</p> | <p>A.- Aunque OSC expresa una relación entre F y v, ésta no tiene necesariamente que ser causal en el punto 2, de salida.</p> |
| <p>🍎 ¿F1 en punto?</p> <p>+ no</p> <p>+ v en 2</p> <p>->Fi</p> <p>->Fg</p> | <p>v salida<-niño</p> <p>Fg</p> <p>Fi</p> <p>Finicial->niño->velocidad</p> | <p>[3] (830)</p> <p>* ● ↖</p> <p>→ ● *</p> <p>Productividad</p> <p>Mítica</p> <p>Asimetría</p> | <p>E.- Explicita otros elementos porque los necesita para la acción causal.</p> <p>I.- OSC parece que se da cuenta de que, si no actúa F en 2, debe actuar otra fuerza. Una vez más recurre a Fi, ya que Fg no provoca el movimiento de subida.</p> <p>AP.- Recuperación para el modelo de D0 lo explicitado "antes" en los modelos para C1 (Cfr. C1[11](710), [12](710)) y C'0 (Cfr. C'0[13](720). El modelo para D0 es correspondiente, coherente y robusto.</p> <p>A.- Si Fi está causada por la velocidad, debería llevar su misma dirección.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGÜEDADES (A) |
|---|--|--|---|
| <p>EPISODIO D1</p> <p>🍏 dirección F_i en H + igual que v</p> <p>🍏 dirección F_g en H + perpendicular</p> |  | <p>[4] (840)</p>  | <p>E.- Direcciones de v y de F_i, coincidentes en las gráficas.</p> <p>AP.- En H también actúan F_i y F_g. El modelo implícito es robusto. Cfr. D0[3](830).</p> <p>A.- F_i arranca de la superficie del cuerpo, lo mismo que v. Deslocalización.</p> |
| <p>EPISODIO D'0</p> <p>🍏 caída -> F_g * trayectoria (caída)</p> |  <p>$F_g \rightarrow$ cuerpo \rightarrow trayectoria (caída)</p> | <p>[5] (840)</p>  <p>→ • *</p> <p>Constancia Heurística C Univocidad Localidad</p> | <p>E.- Menciona F_g como responsable de la caída.</p> <p>I.- El modelo explicitado para D0, implícito en D1, se simplifica. OSC no menciona la acción de F_i: ya que cesa la subida, tiene que desaparecer la causa que la provocaba (Principio de Univocidad), para conservar la correspondencia del modelo. Utilización de la Heurística Canónica.</p> <p>A.- La utilización de la Heurística Canónica introduce ambigüedades en el modelo causal.</p> |
| <p>🍏 otros</p> <p>+ nada más + velocidad + $F_{gravedad}$</p> | | <p>[5i] (850)</p> <p>Heurística C Univocidad</p> | <p>E.- Añade v (ya anteriormente representada en el dibujo).</p> <p>A.- Se mantiene la Heurística Canónica.</p> |
| <p>-> F_i</p> |  | <p>[5ii] (850)</p>  <p>¿Convención A?</p> | <p>E.- Espontáneamente, OSC añade F_i.</p> <p>AP.- OSC lentamente va integrando en este Episodio los elementos que antes había explicitado en otros. El modelo es robusto. Pero el Sistema no resulta a OSC tan familiar y simple como el A y el B. Las posibles "proyecciones" son aquí más lentas.</p> <p>A.- F_i no coincide con v ni en aplicación ni en dirección.</p> <p>A.- No explica el cambio de dirección de F_i, ni su papel en este Episodio. Parece que la explicita para mantener la coherencia del modelo, sin tener clara su función.</p> |

| ELEMENTOS EXPLICITOS | DESCRIPCION FUNCIONAL | ESTRUCTURAS Y PRINCIPIOS CAUSALES | CONVENCIONES (I, E), APRENDIZAJE (AP), AMBIGUIDADES (A) |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">● no sube->Fg | Fg ->cuerpo ->no sube | [5iii](850) → ● ★ Constancia | A.- Aunque OSC explicita que no sigue subiendo debido a la Fg, no explica cómo actúa Fg. Posiblemente esté implícito el modelo explicitado en [3](830). |
| <ul style="list-style-type: none">● actuación Fg★ v disminuye+ v = 0★ Vy = 0->Fg | Vy = 0 <- cuerpo <- Fg | [5iv] (860) ★ ● ← Productividad | AP.- Se explicitan componentes para la velocidad. Era necesario para conservar la correspondencia y coherencia del modelo causal implícito en el Episodio.Cfr. D0[3](830), D1[4](840). A.- Adviértase que sigue sin explicitarse la acción de Fi, que aunque "esté", no necesariamente tiene que "actuar". |
| <p>EPISODIO D2.1</p> <ul style="list-style-type: none">● actuación en d+ dibujo->Fg->Fi● movimiento★mov. creciente+ a favor de Fg+ nada más | <p>Fg niño->mov. creciente Fi</p> | [6] (860) → ● ★ Constancia Mítica | E.- Fi aumenta con v a partir del punto más alto. I.- "A favor de la Fg" parece implicar que OSC mantiene el modelo visto en el Comic A, donde en la caída se signa a Fg la responsabilidad del movimiento, y a Fi la de mantener la trayectoria. AP.- De nuevo no coinciden la dirección de Fi y de v. Parece que este modelo, coherente con A2.2[25], A2.1[26] y C2[21], es robusto para trayectorias de caídas no rectas. |
| <ul style="list-style-type: none">● Fg bajada+ Fg constante● Fi bajada+ Fi aumenta con v+ desde C | <p>Fg niño->mov. crec. vel. ->Fi</p> | [6i](870) → ● ★ ★ ● → Constancia Mítica Asimetría | E.- De nuevo alusión a la relación entre Fi y v. Fg constante. AP.- El modelo que relaciona Fi con v es robusto. Cfr., por ejemplo, C1[11](710), C'0[13](720), D'0[3](830). |
| <p>EPISODIO D2.2</p> <ul style="list-style-type: none">● caída vertical★ Vx=0+ como en C->Fg->Fi | <p>vertical <- cuerpo Fg Fi</p> <p>★ ● → Heurística C Univocidad Productividad Mítica</p> | [7](870) | I.- Lo mismo que antes, cuando hizo falta, se explicitó Vy, ahora se explicita Vx. E.- v localizada en la superficie del cuerpo. I.- Condicionalidad explícita: Para que se dé la caída vertical, vx=0. Hace uso de la Heurística Canónica. A.- ENT. no sigue preguntando en este Episodio por las actuaciones de Fi y Fg porque considera el modelo suficientemente Robusto. |

RESULTADOS DEL ANALISIS DE OSC

OSC no es tímido ni atolondrado. Piensa antes de contestar, aunque cuando se expresa lo hace resueltamente. Se le nota relajado a lo largo de toda la entrevista. Pierde soltura en las explicaciones al Sistema C (partes C y D): aunque el Sistema le resulta igualmente familiar, las representaciones gráficas son lentas y explícita su pensamiento con mucha menos espontaneidad. Sus representaciones gráficas, son un ejemplo de incorporación de "lo aprendido" en clase sin asimilar, adaptado a sus concepciones espontáneas.

1. DIVISION EN EPISODIOS

OSC describe el funcionamiento de los sistemas como constituidos por los siguientes Episodios:

- En el Sistema representado en el **Comic A**, OSC considera el Episodio **A0**, explícito, en el que la bola está quieta (A0[1](010), A0[5](030)); el Episodio **A1**, constituido por dos Episodios: **A1.1**, movimiento acelerado (A1.1[2](010)); y **A1.2**, movimiento retardado (A1.2[3](010)); el Episodio **A2**, constituido por dos Episodios: **A2.1**, movimiento de caída curvo, con aceleración creciente (A2.1[16](190)), y **A2.2**, movimiento de caída vertical, con aceleración creciente (A2.1[23](310), [24](320)). Los dos Episodios, **A1.1** y **A1.2**, se integran rápidamente en uno sólo, el **A1**, como movimiento retardado. Mientras los **A2.1** y **A2.2** conforman hasta el final un modelo robusto para la caída.

-En el Sistema representado en el **Comic B**, OSC maneja mentalmente los Episodios: **B0**, explícito, flecha parada sobre el arco (B0[1](370)); **B1**, flecha subiendo con un movimiento reatardado (B1[2](370), [6](410)); **B'0**, momento en que la velocidad de subida se hace cero (B'0[3](370)); **B2**, flecha bajando con un movimiento acelerado (B2[4](380), [18i](570)).

-En el Sistema representado en el **Comic C**, parte C, los Episodios **C0**, explícito, en el que el columpio está quieto (C0[1](610)); **C1**, subida del columpio (C1[G1](650)), en el que considerará los Episodios **C1.1**, en el que el movimiento de subida crece (C1.1[9](690)); y **C1.2**, en el que decrece (C1.2[9](690)), que más adelante volverá a considerar como un sólo Episodio **C1**, de velocidad decreciente (C1[9ii](700)), que ya será robusto (C1[10](700), [11](710), etc.); **C'0**, donde la velocidad de subida es nula (C'0[G1](650)); **C2**, donde el columpio vuelve a bajar (C2[G1](650)); **C''0**, episodio de tránsito

(C''0[23](760), [24](760)); C'1, en el que el columpio sube (C'1[G3](660), [15](720)); C'''0, en el que la velocidad de subida se anula (C'''0[16](730)); C'2, movimiento de bajada de velocidad creciente (C'2[17](730)); C0(F), en el que el columpio vuelve al reposo inicial (C0(F)[G4](660)).

-En la **parte D** del Sistema representado en el **Comic C**, los episodios **D0**, en el que Zipi sale disparado (D0[G1](790)); **D1**, en el que recorre una trayectoria curva ascendente (D1[4](840)); **D'0**, en el que alcanza el punto más alto de la trayectoria (D'0[G4](800)); **D2.1**, movimiento de bajada curvo (D2.1[G5](810)); **D2.2**, bajada vertical (D2.2[7](870)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

La utilización por parte de OSC de los Principios causales, al dar cuenta del comportamiento de los Sistemas en sus distintos Episodios, es expresiva de una concepción causal antológica, mantenida sin excepción a lo largo de todas sus explicaciones. En el Análisis hemos destacado el uso de uno u otro Principio, según el rozamiento de OSC parecía guiado preferentemente por alguno de ellos, como veremos a continuación.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

De las 68 ocasiones en que se ha explicitado en el Análisis la estructura de los modelos causales utilizados por OSC en sus explicaciones, en 21 se ha destacado un rozamiento apoyado en el Principio de Constancia. De éstas, 11 se producen antes del proceso de teachback (A1.1[2](010), A2[4](020), B1[2](370), B'0[3](370), B2[8](420), C[2](610), D0[3] (620), etc) y el resto durante éste (A1[12ii](090), A2.1[22i](280), A2.2[25](330), C1[19](730), C0(F)[27](770), D'0[5](840), D2.1[6](860), etc.).

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

OSC utiliza un razonamiento apoyado preferentemente en este Principio en 27 ocasiones. Cuatro de ellas antes de comenzar el teachback (A1.2[3](010), A1[6](030), B2[4](380), B0[5](410)) y el resto durante el mismo (A0[10](050), A1[11](050), A2.1[16](190), A2.2[23](310), B1[16](530), B2[17](570), C1[6](670), C2[14](720), C'1[15](720), C;2[17](730), C0[18](730), D0[2](830), D'0[5i](860), D2.1[6](860) etc.).

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

El Principio de Condicionalidad es utilizado por OSC en diferentes **Episodios**, en los que enuncia *condiciones* para que la acción causal se lleve a cabo de la *manera* que lo hace. En el Análisis se han destacado algunas de ellas, que podrían agruparse del siguiente modo:

- *condiciones estructurales*. Por ejemplo: el *fin de la tabla* condiciona la actuación de la fuerza de la gravedad (A2[4](020)); la *inclinación de la tabla* posibilitaría la actuación de la fuerza de la gravedad en el Episodio A1 (A0[9](040)); la *cuerda*, el *asiento fijo del columpio* y el *no soltarse*, condicionan la trayectoria del columpio (C[9i](690)); y la *cuerda* impide que el columpio se caiga (C"0[24i](760)); que Zipi se *suelte* condiciona que *salga* disparado (D0[1](820)).

- *condiciones dinámico-estructurales*. Por ejemplo: que la *masa* sea grande o pequeña condiciona la velocidad de subida de la flecha (B0[11](450)); que la *fuerza de inercia* sea mayor que la fuerza con que Zipi se sujeta al columpio condiciona que éste se suelte (D0[3](620)).

- *Condiciones dinámicas*. Por ejemplo: la *velocidad* que la bola lleva en A1 condiciona la fuerza de la trayectoria en la caída (A1[G1](150)); que Zipi tenga *suficiente velocidad* condiciona el que pueda salir disparado (D0[1i](820)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

OSC utiliza en todas las explicaciones el Principio de Univocidad. En el análisis se han destacado únicamente aquellas en los que para conservar este Principio, juntamente con las condiciones de correspondencia y coherencia, es necesario que un candidato causal "desaparezca", ya que tiene que desaparecer el "efecto" que se seguiría en el material del Sistema en caso de que dicho candidato causal actuase. Son los comentarios a los Episodios A2.2[24](320); B2[16](530); C0(F)[20](740); D'0[5](840), D'0[5i](850), D2.2[7](870). En todos ellos, OSC ha recurrido a la Heurística Canónica, como veremos más tarde.

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

El Principio de Asimetría es siempre preservado por OSC. En el análisis hemos destacado su utilización sólo en las ocasiones en que el Principio es necesario para evitar la confusión causa-efecto. Son las explicaciones a los Episodios A1[14i](120), A1[15](130), B1[14](520), B'0[15](530), C1[11](710), C1[12](710), C2[21i](740), C2[22](750), D0[3](830), D2.1[6i](870). Los modelos causales respectivos presentan sin excepción una

estructura en cadena en la que se articulan candidatos causales reales y míticos, por lo que también interviene un tiempo mítico necesario para preservar el principio causal.

3. LOCALIDAD

OSC utiliza este recurso con soltura y flexibilidad, utilizando *localmente* los candidatos causales probables que estima necesarios para mantener la correspondencia y coherencia de los modelos causales explicativos de los Episodios considerados. Esto es posible, sin caer en incoherencias, gracias a la utilización de Convenciones, como veremos más adelante.

Por ejemplo: la *fuerza de la gravedad*, aunque definida sin restricciones como "una fuerza que atrae a los cuerpos hacia el suelo" (Cfr. A2.1[20i](250)) *localmente* no actúa en los Episodios en los que el Sistema está en reposo (Cfr. A0[1](010), A0[8](040); B0[1](370), B0[9](430); C0[1](610), C0[8](680), C0(F)[27i](780), etc); y cuando el Sistema está en movimiento sólo se explicita cuando es necesaria para salvaguardar las condiciones de correspondencia y coherencia del modelo causal explicativo (Cfr., por ejemplo, A1[16](190), A2.1[18](210), A2.2[27](350), etc); el *aire*, que es un elemento del entorno de todos los Sistemas estudiados, sólo se explicita como candidato causal probable, aunque no activo, en A1[13i](110); y actuando exclusivamente en el Episodio C0(F) del Sistema C, parte C, ya que aquí es necesario para explicar la llegada al reposo del Columpio (Cfr. C0(F)[25](770), [27](770)). Etc.

4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CAUSALES INICIALES

De las 15 explicitaciones espontáneas de modelos causales iniciales que OSC ofrece, en 13 de ellas utiliza modelos causales simples, en los que se pone en relación

una causa - un efecto

(Cfr. A1.1[2](010), A1.2[3](010), A2[4](020); B1[2](370), B'0[3](370), B2[8](420); C[2](610), etc.)

Pero esta construcción no es exclusiva: también se manejan estructuras compuestas del tipo



en los Episodios A1[6](030) y D0[3](620), correspondientes a modelos causales iniciales.

Superposiciones

En algunas ocasiones OSC utiliza modelos causales iniciales que, aunque presentan la estructura simple

una causa - un efecto

en realidad se trata de modelos muy simplificados, que resumen como si se tratara de un solo Episodio comportamientos más complejos del Sistema. Pos ejemplo, C[2](610), en que se resume toda la dinámica del Sistema C, parte C; o el D'0-D2[G2](790), en el que se resumen varios Episodios de la parte D del mismo.

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

De las 53 explicitaciones de modelos causales que OSC ofrece durante el proceso de teachback al conjunto de los Episodios que considera en los sistemas A, B y C, 37 presentan la estructura simple

1 causa -> 1 efecto

1 efecto <- 1 causa

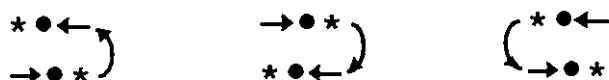
(Cfr. A1[11](050), A2.1[22i](280), A2.2[25](330); B1[13](510), B2[16](530); C1[6](670), C2[14](720), C'1[15](720), C'2[17](730), D0[2](830), D'0[5](840), etc.)

Como veremos más adelante, la utilización mayoritaria de esta estructura causal no significa que OSC no sea capaz de un razonamiento causal complejo. Pero sí parece indicar cierta tendencia a categorizar los fenómenos en términos explícitos de *1 causa - 1 efecto*, cuando los modelos causales, en primera aproximación, son *correspondientes*. Puesta a prueba la *coherencia* y *robustez* del modelo, OSC demuestra que no ignora la existencia de otros candidatos causales que también intervendrían en el fenómeno. De entre esos candidatos posibles, OSC elige con gran libertad y flexibilidad el candidato causal más probable, que es el que explicita en primera instancia.

Una ilustración clara de cómo OSC, no ignorando la existencia de una pluralidad de causas, selecciona el candidato causal más probable, según el Episodio que esté analizando, la encontramos en la explicación espontánea que ofrece del movimiento del columpio (Comic C, parte C). OSC conoce que en el movimiento "intervienen" Fi y Fg (C1[12](710)). Pero en el Episodio C'2[17](730) -bajada- sólo hace explícita Fg; y en el C1[19](730) -subida-, sólo Fi; por último, sólo Fi es responsable de un movimiento oscilatorio de subidas y bajadas (C[20](740)), hasta que el columpio se para (C0(F)[20](740)).

Cadenas causales simples

En un total de 6 ocasiones, OSC utiliza modelos causales que presentan estructuras de cadenas causales simples, del tipo



que corresponden a las explicaciones dadas a los Episodios A0[10](050), A1[14i](120), B'0[15](530), C1[12](710), C2[21i](740), C0(F)[25](770). En casi todas ellas se articulan candidatos causales reales y míticos, para conservar la *correspondencia* y *coherencia* de los modelos causales respectivos.

Estructuras causales complejas

Varias causas, un efecto

La utilización explícita por parte de OSC de varios candidatos causales para explicar los valores del material en los distintos Sistemas han sido destacados en el Análisis en un total de 10 ocasiones: A2.1[18](210), A2.1[21](270), A2.2[23](310), A2.1 y A2.2[28](360); C1[7](670), C1[9ii](700), C0(F)[27](770), C[28](780); D2.1[6](860) y D2.2[7](870). Las estructuras son del tipo



Cadenas causales complejas

En el Análisis se ha destacado la utilización por parte de OSC de modelos causales que presentaban estas estructuras en un total de 6 ocasiones. Son estas: A1[15](130),

B1[14](520), C1[11](710), C1[12](710), C2[22](750), D0[3](830), D2.1[6i](870). Las estructuras de estos modelos son del tipo



En todas ellas se articulan candidatos causales reales y míticas. Subrayamos que la mayor parte de estos modelos son explicativos del Sistema C.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

La utilización de Convenciones, tanto de la Convención Amplia como de la Heurística Canónica, es clara por parte de OSC al explicar el funcionamiento de los distintos Sistemas.

CONVENCION AMPLIA.

En las *explicaciones espontáneas* OSC utiliza la Convención Amplia siempre que el Sistema está *en reposo* -A0[1](010), A0[5](030), B0[1](370), B0[5](410), C0[1](610)- Incluso cuando en algunos casos explícitamente se mencionan agentes causales -A0[5](030), B0[5](410)-, estos no "actúan". También utiliza esta convención en el Episodio A1[6](030), en el que aun sabiendo que el "peso" está presente, considera que no "actúa".

En el *proceso de teachback* OSC también utiliza la Convención Amplia cuando el Sistema está *en reposo* (A0[8](040), B0[9](430), B0[11](450), C0[8](680), C0(F)[27i](780)); y en otros Episodios en los que está *en movimiento* (A2.1[21](280), A2.1[22](280), C1[6](670), C'1[23](760), C"0[24](760), C"0[24i](760), D0-D1[G1](790), D0[1](820), D'0[5ii](850)). Aunque en casi todos estos casos, se explicitan candidatos causales, reales o míticos, que aunque "estén" no "actúan".

La interpretación de por qué OSC utiliza la Convención Amplia tiene que ver con el concepto prototípico de "causa" y "efecto" que utiliza, como veremos más adelante, y no es difícil, porque él mismo lo explica en dos ocasiones. Preguntado por qué no utiliza en su explicación (en su modelo causal del Episodio) los candidatos causales que ha mencionado, contesta:

- porque "creo que no juega(n) ningún papel". (C"0[24](760))
- "porque no ha venido así a cuento". (C0(F)[27i](780))

Es decir, porque realmente OSC piensa que en el Episodio concreto en que realiza la Convención Amplia, aunque los candidatos causales están ahí, están inhibidos (no producen efectos, o son despreciables): "no juegan ningún papel"; o porque, aunque tengan un papel, sus efectos no son importantes en la determinación de la causalidad del Episodio ("no ha venido a cuento" hablar de ello).

HEURISTICA CANONICA

En 6 ocasiones OSC utiliza la Heurística Canónica al explicar el comportamiento de los Sistemas. Todas ellas ocurren durante el proceso de teachback. En dos de estas ocasiones la utilización de esta Convención es explícita:

* OSC acaba de explicitar que en el Episodio de caída A2.2 existe sólo la componente vertical de la velocidad. ENT pregunta qué ha sucedido con la componente horizontal. La respuesta es la siguiente:

- "Se *anularía* ahí ... O sea, la única que interesa ahí en el movimiento, o que es la única que actúa, la única velocidad que actúa ... sería la componente Y" (A2.2[24](230))

* Del mismo modo, al preguntarle por qué en el Episodio D2.2 la caída llega a ser vertical, OSC explica:

- "Pues que se anula la ... la componente X, lo mismo que en c ... Actúa la fuerza de la gravedad y la de inercia". (D22[7](870))

En las otras 4 se limita a omitir candidatos causales cuyo efectos desconoce, en caso de que actuaran (Cfr. B2[16i](530), D'0[5](840), D'0[5i](850)), o postula la desaparición de un atributo del material para que el modelo sea correspondiente y coherente, sin explicitar el mecanismo de desaparición (Cfr. C0(F)[20](740)).

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

Parece claro que el candidato causal prototípico de OSC es "una fuerza". Lo señala explícitamente en dos ocasiones, A0[9](050) y B1[10](440).

- "Pues la fuerza, o sea, que actúe verdaderamente la fuerza"

- "Que actúe una fuerza sobre la flecha"

Menos directamente, pero fácilmente deducible de sus explicaciones, es su concepción prototípica de "efecto": producir un cambio dinámico positivo perceptible en el sistema. El dato más expresivo de esta concepción lo aporta OSC en su explicación al

Episodio C0[8](680), donde al responder a la cuestión de "qué cosas influyen" en el Episodio, OSC explicita:

- "Bueno, en 1... *la única fuerza que actúa* es... esa fuerza [refiriéndose al agente exterior que va a originar el movimiento]. La fuerza de la gravedad ahí será.. una fuerza que favorezca el *reposo*".

Y en el Episodio C"0[24](760), al preguntarle explícitamente por el papel de Fg, OSC responde del mismo modo:

- "Creo que *no juega ningún papel... tiende al reposo, vamos*"

Incluso cuando en el teachback se le sugiere la posible actuación de otros agentes causales, que puedan tener efectos no dinámicos, OSC los rechaza explícitamente:

ENT.- "Me has dicho que en el momento de salir disparada [la flecha], influye... la tensión de la cuerda y la aceleración de la gravedad, ¿no es eso?"

OSC.- "Bueno, no: solamente eso. En ese momento... lo que le va a comunicar esa velocidad inicial... va a ser *la fuerza que actúa*, la fuerza que ejerce la cuerda, ¿no?, la tensión" (B0[9](430)).

Esta interpretación es coherente con la utilización que OSC hace de la Convención Amplia. A pesar de explicitar agentes causales, cuando los Sistemas están en reposo, "no juegan ningún papel", es decir, ningún papel causal dinámico positivo (Cfr. A0[5](030), A1[6](030), A0[8](040), B0[5](410), B0[11](450)).

En el caso de OSC, los prototipos de causa y efecto, aunque no determinan o agotan sus conceptos de "causa" y "efecto", sí parece que influyen a la hora de elegir los candidatos causales más probables en los distintos Episodios: observamos una inclinación a recurrir en primer término a candiatos causales dinámicos, y sólo en segundo lugar a candidatos causales estructurales.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontáneas

Candidatos causales dinámicos

En las explicaciones espontáneas que OSC ofrece acerca del funcionamiento de los Sistemas representados en los Comics A, B y C, los candidatos causales que utiliza preferentemente son las fuerzas exteriores al Sistema que los ponen en movimiento, *Fratones* (A1.1[2](010), A0[5](030), A1[6](030)); *Fhombre* (B1[2](370)); *Fhermano* (C1[2](610), D0[3](620); combinadas con las "*fuerzas de la gravedad*" que actúan positivamente en los Sistemas (A2[4](020), A2[7](030), B'0[3](370), B2[4](380), B1[6](410), B'0[7](420),

B2[8](420)). Aunque se cita "el peso" en algunos de estos episodios (A0[5], A1[6]), no se le atribuye ningún papel causal.

Candidatos causales estructurales

En cuanto a la estructura del Sistema, OSC cita en sus explicaciones espontáneas la *escoba* (A1.1[2](010)), el *fin de la tabla* (A2[4](020)), el *arco* (B0[1](370)), la *cuerda* (B0[5](410)), el *columpio* (C0[1](610)), el *eje y soltarse* (D0[3](620)). En todos estos Episodios, estos elementos se consideran como CONDUCTOS, es decir, como elementos del Sistema que soportan o condicionan la acción causal. En dos ocasiones OSC introduce el *rozamiento* como candidato causal que modifica los valores del material (A1.2[3](010), A1[6](030)). Este rozamiento se origina en la *tabla*, que se considera en las explicaciones citadas como un COMPONENTE.

La función del *rozamiento* es dar cuenta de la disminución de "aceleración" que experimenta el material (A1.2[3](010)), o de la "aceleración negativa" que lleva el mismo (A1[6](030)). En estos casos la explicitación de esta candidato causal era necesaria para que los modelos causales explicativos del funcionamiento del Sistema fueran *correspondientes y coherentes*.

Se podría, pues, decir, que los modelos causales iniciales se construyen fundamentalmente con *agentes causales dinámicos*, y sólo cuando hace falta para que el modelo causal sea correspondiente (es decir, que si no se mencionan, la puesta en marcha del modelo mental causal no se correspondería con el funcionamiento real del sistema), se explicitan *agentes causales restrictivos o estructurales*.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

Lo primero que llama la atención es que entre un total de 104 explicaciones referidas a los diferentes Episodios que componen los Comics A, B y C, en sólo 13 de ellas se mencionan *elementos estructurales* del Sistema. De estas 12 ocasiones, en 5 de ellas - A1[10](050), A1[11](050), *tabla*; C0(F)[25](770), *aire*; C0(F)[26](770), C0(F)[27](770), *eje* - se habla de estos elementos estructurales como *componentes*, es decir, como *elementos causales*. En las 8 restantes, se mencionan como *conductos* que simplemente permiten o condicionan el camino de la acción causal. Así, la *escoba* (A0[8](040)), la *inclinación de la tabla* (A0[9](040)), la *cuerda* (arco) (B0[9](430), B0[11](450)), la *mano* (B0[10](440)), la

cuerda, asiento, agarrarse (columpio)(C[9i](690)), la *cuerda* (C"0[24i] (760)), *soltarse* (D0[1](820)).

Es de notar que estos elementos estructurales, antes de que se hayan utilizado como COMPONENTES, se han mencionado (*tabla* en el comic A), o han sido descritos espontáneamente, como CONDUCTOS -A1.1[2](010), *tabla* ; B0[1](370), *arco* ; C0[1](610), *columpio* ; D0[3](620), *eje* -. Sólo cuando han sido necesarios para la explicación causal del comportamiento del Sistema se ha recurrido a ellos como COMPONENTES. Para OSC esto también es cierto en el caso del *aire*, elemento del entorno del Sistema que se menciona en dos explicaciones del Episodio A1 -A1[9](040) y A1[13i](110)- como posible candidato causal, pero que no se incorpora en estos momentos, porque el sujeto no lo considera necesario para la explicación causal de su comportamiento.

Todo esto puede interpretarse como signo de una gran resistencia del sujeto a utilizar *candidatos causales estructurales*, a menos que los considere absolutamente necesarios para explicar causalmente el comportamiento del Sistema. Es notable que en el caso de OSC, al explicar el comportamiento del sistema representado en el Comic C, éste recurra antes al *aire* -candidato causal del *entorno* del sistema- que al rozamiento del eje -candidato causal estructural del Sistema (C0(F)[25](770)). Es también notable que aunque OSC menciona en dos ocasiones "la cuerda" del columpio como una *condición* para la acción causal (C[9i](690) y C"0[24i](770)), no la conceptualiza en ningún momento como un COMPONENTE, recurriendo al concepto de "tensión de la cuerda" como agente activo.

i) el rozamiento.

Los elementos estructurales de los Sistemas, *tabla* y *eje*, producen *rozamientos* en los materiales de los mismos, modificando sus atributos. El *aire*, primero considerado como un elemento exterior al Sistema A, en el que no juega ningún papel causal, también se considera más tarde, en relación al Sistema C, parte C, un elemento de la topología del Sistema que incide en los valores de los atributos del material, al producirle también *rozamientos*. En todos los casos, el rozamiento tiene como función disminuir el movimiento del material (A1[10](050), A1[11](050)), o explicar la vuelta al reposo inicial del Sistema (C0(F)[25](770), C0(F)[26] (770)).

El *rozamiento* no aparece claramente conceptualizado por OSC. Parece que sólo depende de ciertos "atributos" del material, como su "masa", o su "peso" (A0[10](050)), pero en nada relativo a la naturaleza del mismo o de la superficie sobre la que éste material "roza". De manera que aunque la acción "causal" del componente es clara, la naturaleza de

"rozamiento" permanece confusa (Cfr. A1[13i](110), en que Fr aparece gráficamente representado como *perpendicular* a la superficie de rozamiento).

Candidatos causales dinámicos

El comportamiento de los Sistemas, una vez puestos en funcionamiento por un agente causal exterior (*ratón, hombre, hermano*), es explicado fundamentalmente mediante la acción de otros candidatos causales dinámicos. Además de la "fuerza suministrada", que no comentamos, OSC explicita los siguientes.

i) La "fuerza de la gravedad", F_g

La "fuerza de la gravedad", nombrada indistintamente como "peso", "fuerza del peso", "gravedad", "atracción de la tierra", es definida por OSC como

- "La fuerza con que la tierra atrae al cuerpo hacia el suelo", *que* "actúa siempre perpendicular al suelo" y "es la misma [tiene el mismo valor] siempre", *aunque* "a distancias grandes, disminuye". (A2.1[20i](250), A2.1[22i](280)).

El efecto de esta "fuerza" es descrito como *un movimiento de caída con aceleración creciente* (A2[7](030), A2.1[21](270), A2.1[22i](280), B2[18i](570)). Sólo en una ocasión se describe como produciendo una velocidad creciente y una aceleración constante (B2[18ii](580)).

Quizá detrás de esta conceptualización está implícito el siguiente razonamiento:

- La actuación de una agente causal produce un cambio de atributo.

Si el agente causal sigue actuando, tiene que seguir produciendo cambio en el atributo

- La acción de F_g produce aceleración, por lo tanto
- La actuación mantenida de F_g produce un cambio en la aceleración.

Funciones de F_g

- Cuando el Sistema está *en reposo*, OSC aplica ordinariamente la Convención Amplia, y aun en los casos en que menciona explícitamente la "acción de la gravedad" o "del peso", en realidad no "actúan", no juegan un papel propiamente causal (Cfr. A0[8](040), B0[9](430), B0[11](450), C0[1](610), C0[8](680), C"0[24](760), C"0[24i](760)).

En estos casos, OSC *explicita* que la fuerza de la gravedad aunque esté ahí "no actúa", o su actuación es despreciable, porque "*hace que tienda al reposo*" (C0[8](680),

C"0[24](760), C"0[24i](760)). Lo que hace sospechar que Fg sólo es considerada como candidato causal cuando se conceptualiza como *agente causal dinámico*.

- Cuando el Sistema está en *movimiento*, Fg no se explicita hasta que es *necesaria* para dar cuenta del comportamiento causal del Sistema, explicando con ello algún comportamiento ostensible del mismo, y salvando de esta manera la *correspondencia* de los modelos causales contruidos.

Así, en el Comic A, Fg no se menciona hasta el Episodio A2[3], para explicar la caída; en el Comic B, hasta el Episodio B'0[3], para explicar la parada en la subida de la flecha; en el Comic C, parte C, hasta el Episodio C2[5], para explicar por qué el columpio empieza a bajar, después de alcanzar un punto en que se para; y en la parte D, hasta el Episodio D'0-D2[G2], para explicar la bajada de Zipi, después de alcanzar el punto más alto de su trayectoria en el aire.

Una vez mencionada, Fg se incorpora a los modelos causales posteriormente contruidos para preservar la *coherencia* de los mismos, produciendo estructuras causales complejas (*varias causas -> 1 efecto*). Pero siempre sobrevivirá la primera tendencia a simplificar la elección de candidatos causales en términos de *1 causa - 1 efecto*.

Relación de Fg con otros constituyentes de los Sistemas

OSC relaciona Fg con el "rozamiento" refiriéndose al "peso" (p, mg) en el Comic A - A0[10]- con significado ambiguo. También la relaciona con Fi ("fuerza de inercia"), unas veces con significado poco claro -A1[12i](080), A1[12iii](090), A1[12iv](100), A2[26i](340) -y otras claramente como "causa" generativa, en una cadena causal- C2[21](750) y C2[22](750)-.

Representación gráfica de Fg

En general, la representación gráfica de Fg, en sus distintas acepciones (gravedad, peso, Fg,...) es *deslocalizada*, en el sentido de no atenerse a las convenciones de la Física clásica, aunque OSC conoce esas convenciones (D'0-D2[G2](790)). Posiblemente esto sea signo de que tales convenciones tienen poca significatividad para OSC, porque algo similar sucede también en las representaciones gráficas de otras magnitudes, como veremos más adelante.

Componentes de Fg

OSC sabe que la fuerza tiene naturaleza *vectorial* (A1[6]) y que los vectores tienen *componentes* (A2.1[16]). Pero de hecho nunca utiliza la descomposición de Fg (definida por

él como una fuerza) en sus posibles componentes para explicar causalmente el comportamiento de los Sistemas. Consecuencia de esto es que tenga necesidad de recurrir a candidatos causales míticos para explicar las características de ciertos tipos de movimientos, como en los casos en que recurre a la Fi para dar cuenta de la *dirección* del movimiento en algunos Episodios, donde los otros candidatos causales, tal como son concebidos, no pueden explicarla (Cfr. por ej. A2.1[26](340) y D1[4](840)).

ii) Velocidad

La velocidad es un candidato causal dinámico de naturaleza *mítica*, al que OSC recurre en las ocasiones en que dar cuenta del comportamiento ostensible del Sistema, preservando los Principios causales, no le ha sido posible de otro modo.

OSC atribuye a la velocidad las características de "una causa" prototípica, como es una fuerza. Así la nombra como "fuerza" (A2.2[23](310)); le atribuye sus mismas propiedades (A2.1[18](210) y A2.1[19](220)); se compone con otras "fuerzas", como "g", y "actúa contra" ellas (A2.1[16](190), A2.1[18](210), A2.2[27](350), C1[9ii](700)); y "actúa" para producir otras velocidades (A2.1[20](230)), o para producir Fi (A1[14i](130), A1[15](140), B1[14](520), C1[11](710), C2[22](750)).

A pesar de esto, aunque la modelización de *v* como agente causal es robusta (Cfr. D1[4](840), D'0[5ii](850), D2.1[6](860), D2.1[6i](870)), parece que OSC lo que necesita es propiamente una "fuerza" para dar cuenta del movimiento en cada uno de los Episodios de los distintos Sistemas. Como esta "fuerza" no puede salir de la nada, recurre a *v* para generarla, dando lugar a Fi. Esto lo consigue utilizando el Principio de Asimetría, con la introducción de un tiempo mítico, con lo que evita caer en la confusión causa-efecto.

Componentes de la velocidad

Los componentes de la velocidad (explicitada por OSC como "vectorial" ya en los primeros Episodios (A1[6](030)) permanecen implícitos, a menos que sean necesarios para dar cuenta causalmente del comportamiento del Sistema en el Episodio considerado. Son los casos A2.1[16](190), en que uno de los componentes "causa" la caída o el movimiento "parabólico" (A2.1[17](210); A2.2[24](330), en que "la única componente que actúa es la Y", para producir el movimiento vertical de caída; D'0[5iv](860), en que $V_y=0$ (deja de subir Zipi); y D2.2[7](870), en que $V_x=0$, y por tanto la caída de Zipi es vertical. En estos casos, OSC utilizará el mismo *lenguaje causal* que ha utilizado para la velocidad en general, anteriormente descrito.

En los Sistemas representados en los comics B y C, parte C, los componentes de la velocidad permanecen siempre implícitos: los otros candidatos causales bastaban para dar cuenta del comportamiento del Sistema.

Representación gráfica de la velocidad

La "velocidad" aparece con frecuencia *deslocalizada* en las representaciones gráficas que realiza OSC. Sólo en el Episodio A1 del Comic A, y en todo el Comic B, sigue la convención de la física clásica. En los otros casos su representación es bastante idiosincrática, casi siempre partiendo de la superficie del cuerpo y en una dirección que explícitamente no sigue la trayectoria, sino que va "a favor del movimiento" (D2.1[G5](810), A2.1[20](220)).

En general, puede decirse que la utilización por parte de OSC de la velocidad como una causa mítica no es sorprendente. Ni tampoco que, aun conociendo la naturaleza vectorial de la misma, sólo explicita sus componentes cuando lo exija la explicación causal del funcionamiento del Sistema. Lo que puede causar sorpresa es la poca asimilación que demuestra OSC del concepto de velocidad instantánea, y la falta de significado que tiene para él la representación de la velocidad como tangente a la trayectoria del móvil; conceptos objeto de enseñanza minuciosa en los cursos que ya ha estudiado OSC, y que probablemente él ya habrá aplicado en la resolución de problemas en el aula.

iii) La "fuerza de inercia", Fi

La "fuerza de inercia", como la denomina OSC, es un *candidato causal dinámico* de naturaleza mítica, al que recurre para dar cuenta del comportamiento causal de los Sistemas cuando es necesario para preservar en ellos los *Principios causales* o las condiciones de *correspondencia* y *coherencia* de los modelos causales producidos para explicar su funcionamiento.

Las características que OSC asigna a Fi son los que los alumnos normalmente atribuyen a una "fuerza del cuerpo" (A1[15](140)) que "actúa desde dentro", una vez generada por otras "fuerzas", reales (exteriores al Sistema) o míticas (velocidad). Como tal "fuerza", "es igual que las otras" (B1[14i](520)), se compone con otras "fuerzas", (C1[12](710)), es la "resultante" de otras "fuerzas" (A2.2[27](350)).

Funciones de la Fi

La *primera función* de Fi es la de *explicar el movimiento*, en una dirección determinada cuando no hay ningún candidato causal alternativo para explicarlo. Es el caso de

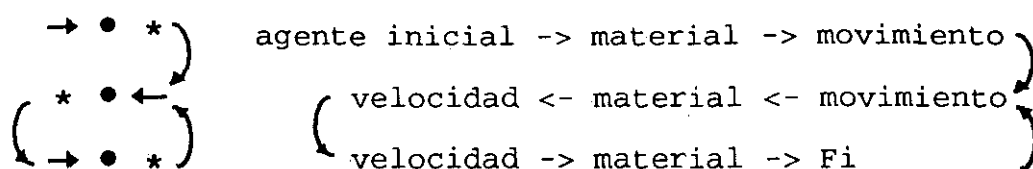
A1[12](070), B1[14](520), C1[11](710), D1[4](840), donde se da un movimiento de ascensión sin una "causa" real que lo provoque: *para preservar el principio de Productividad*, hace falta recurrir a una causa mítica que justifique el "efecto" de subida. En estos casos, pues, su papel es *mantener el movimiento*.

Cuando en el proceso de teachback se pone a prueba la *correspondencia, coherencia y robustez* de los modelos causales producidos, OSC incluye también Fi en su modelo causal. En estos casos, lo que tiene que preservar es el *Principio de Constancia*: toda causa tiene un efecto. Son Episodios en los que Fi no es necesaria para mantener el movimiento. Y OSC parece asignarle el papel de *mantener la trayectoria*. Así se desprende de las explicaciones de OSC en los Episodios A1[14](120), A2.1[26](340) y D1[4](840), donde explícitamente OSC dice de Fi tiene "la dirección del movimiento", es "la de la trayectoria". Esta interpretación es bastante coherente con el pensamiento de OSC, sobre todo en los dos últimos Episodios, ya que en ellos ninguna de las dos "causas" implicadas (la "velocidad" y la "gravedad") "actúan" en la dirección de la trayectoria.

A pesar de esto, si no se pone a prueba la coherencia y robustez de los modelos causales construidos, OSC tiende a no mencionar Fi en los Episodios en los que no es necesaria para mantener el movimiento. Así, no se menciona en las explicaciones al Episodio B2 (caída de la flecha), donde el entrevistador no pone a prueba la robustez del modelo causal explicativo de la bajada, aunque sí la menciona en la subida. Y en los A2.1 y A2.2 la menciona sólo cuando el modelo causal es cuestionado por el entrevistador. Y lo mismo sucede en los otros Sistemas.

Origen de Fi

Al principio de la entrevista, en las primeras explicaciones a los Episodios del Sistema representado en el Comic A, OSC relaciona Fi con el "estado del cuerpo" - A1[12ii](090)-. Cuando el cuerpo está "parado", se relaciona con el "peso" del cuerpo, y si está "en movimiento", con la velocidad -A1[12iv](100)-. A medida que avanza en la entrevista, OSC construye un modelo causal acerca del origen de Fi que prueba su coherencia y robustez a lo largo de todo el uso que hace de Fi en las explicaciones del último Sistema (Comic C, parte D: D1[4](840), D'0[5ii](850), D2.1[6](860), D2.2[7](870)). Es el siguiente: Parte de una causa real inicial (agente exterior, o Fg), que causa un movimiento en el material y origina una velocidad; esta velocidad a su vez origina una Fi. Y esta Fi es la responsable del movimiento. Causalmente, este razonamiento se podría representar:



(Episodios A1[15](140), C2[22](750), B1[14](520) y C1[11](710)).

Como dijimos antes, el razonamiento se cierra sobre sí mismo y sólo la utilización del Principio de Asimetría, con la introducción de un tiempo mítico en el proceso, impide la confusión causa-efecto.

Representación gráfica de Fi

OSC no representa espontáneamente Fi, como hace con las otras "magnitudes" dinámicas, Finicial, Fg, V. Pero como las primeras conceptualizaciones que expresa de Fi aparecen ambiguas (A1[12] (070), A1[12i](080), A1[12iii](090)), el entrevistador insiste para que la represente, en un intento de que OSC explicita su pensamiento al respecto. OSC es reticente al principio (Cfr. A1[12iii](100) - A1[13i](110)), hasta que por último la representa (A1[14](120)).

Aunque OSC siempre relaciona Fi con v, sólo en dos ocasiones las representa coincidentes en dirección y sentido (A1[14](120) y B1[14i](520)). En los otros casos no representa esta coincidencia (C1[11](710), C2[21](740), etc.) o la representa *deslocalizada* (A2.2[25](330), C"0[23](750), etc.). Estas representaciones son coherentes con las funciones que OSC parece atribuir a Fi como agente causal, anteriormente descritas.

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

OSC introduce en sus modelos causales otros candidatos causales con menos frecuencia y significatividad que los anteriores, sobre los cuales el ENT no insiste en el proceso de teachback, por aparecer con menos sustantividad. Así, el *movimiento*, como agente causal de la velocidad, en los Episodios en los que ésta genera Fi, antes citados; la *Normal*, que menciona en A0[10](050), relacionándola con el "rozamiento", pero que ya no vuelve a utilizar; y la *masa* en el mismo Episodio, también como elemento "causal" del rozamiento, que tampoco vuelve a usarse con esta acepción. Es de notar que en una ocasión OSC explicita espontáneamente que la "masa" se puede "despreciar" (convención explícita), pero no lo hace porque es necesaria para que actúe el peso, ya que "la masa sola no actuaría" (B0[11](450)). Seguramente OSC está recordando algunos sistemas físicos que se le han presentado en clase, en los que se ha hecho la convención explícita de que ciertas partículas

"tienen masa despreciable", sin haber asimilado propiamente que esta convención puede aplicarse a ciertos sistemas y no a otros.

El *aire* es un elemento extra Sistema que OSC utiliza cuando lo juzga necesario para dar cuenta causalmente del comportamiento del mismo (C0(F)[25](770), C0(F)[27](770)). Hay casos en que no lo utiliza explícitamente en la acción causal, aunque menciona su presencia como candidato causal alternativo disponible (A1[9](040), A1[14](120)). El aire forma parte del *entorno* del Sistema. Es evidente que el hecho de que en algunos casos no se mencione (Comic B; parte D del Comic C), no significa ignorancia del mismo, sino que no lo considera necesario para explicar causalmente los comportamientos observados.

Por último, OSC también menciona como posible candidato causal la *inclinación de la tabla*, en el Comic A (A0[9](040)). Pensamos que, dada la tendencia que muestra OSC a dar cuenta del comportamiento causal de los sistemas utilizando candidatos causales dinámicos, en realidad OSC está pensando en la inclinación de la tabla más como una *condición* para que actúe un candidato causal dinámico (la fuerza de la gravedad), que como un candidato causal propiamente dicho.

Aunque OSC cita en una ocasión la *Fuerza centrífuga* como candidato causal (D0[3](620)), la indentifica con la Fi, y no vuelve a mencionarla como tal en la explicación de los restantes Episodios.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE JAC

JAC habla con soltura y se muestra relajado a lo largo de toda la entrevista. Cuando se le pregunta tiende a repetir la cuestión, quizá como un modo de ganar tiempo y de pensar antes de contestar. Utiliza bastante vocabulario científico, pero muestra poca asimilación del mismo. De hecho se observa un gran esfuerzo en integrar lo aprendido en clase con sus conceptualizaciones espontáneas, pero en todos los casos parece que se imponen estas últimas.

1. DIVISION EN EPISODIOS

Al explicar el comportamiento de los distintos Sistemas, JAC los considera constituidos por los siguientes Episodios:

- **Sistema A:** A0, que primero permanece implícito (A0[1](010)) pero que pronto se explicita (A0[4](010)); A1 que primero se describe como un movimiento acelerado (A1[5](010)), después como un movimiento de velocidad constante (A1[7](030), [9](050), etc), y por último como un movimiento retardado (A1[11](080), [12](080), etc); A2, que primero se describe como un solo Episodio en el que la caída es vertical acelerada o caída libre (A2[6i](010), [23iii](200), etc), y más tarde como constituido por los Episodios A2.1, en el que el cuerpo al caer describe una trayectoria curva (A2.1[25](240), [27](260)), y A2.2, en el que el cuerpo en su caída describe una trayectoria vertical (A2.2[26](260), [28](270)).
- **Sistema B:** B0, explícito desde el primer momento (B0[1](300)); B1, movimiento de subida que primero mantiene la "fuerza aplicada" (B1[10](350)) y que más adelante se explicita como mantenida por la "fuerza aplicada" y la "fuerza de la gravedad" (B1[12i](370)); B'0 que primero no se explicita (B'0[3](300)) y luego se describe como aquel en el que la flecha "queda parada" (B'0[7](340), [12](370), etc); B2, movimiento de caída (B2[4](300)) que crece en la bajada (B2[16](430)).
- **Sistema C, parte C:** C0, primero implícito (C0[1](580)) y enseguida explícito (C0[4](600)); C1, movimiento de subida del columpio (C1[5](600)) primero mantenido únicamente por una "fuerza suministrada" (C1[16](630)), y en el que después interviene también una fuerza de rozamiento que frena el movimiento (C1[14i](630), etc); C'0, primero implícito (C'0[6](600)), y que más tarde se explicita como aquel en el que el columpio detiene su subida (C'0[11](600)); C2 en el que el movimiento de bajada del

columpio (C2[7](600)) va en aumento (C2[22ii](720)); C''0, al que llega el columpio en su bajada (C''0[13](610)) con una cierta velocidad (C''0[23](730)); C'1, movimiento de subida "frenado" del columpio (C'1[14](610), [24ii](730)); C'''0, en el que el columpio se para (C'''0[25](740)); C'2, en el que el columpio bajaría con las mismas características que en C2 (C'2[26](740)); C0(F), en el que el columpio finalmente quedaría parado en la posición inicial (C0(F)[27](740)).

- **Sistema C, parte D:** D0, en el que Zipi sale disparado (D0[1](760)); D1, en que el movimiento de subida de Zipi va disminuyendo (D1[3](790)); D'0, en el que Zipi se para, alcanzando el punto más alto de su recorrido (D[G1i](750), [6](810)); D2.1, en que Zipi al caer describe una trayectoria curva (D2.1[8](830)); y D2.2, en el que describe en la caída una trayectoria vertical (D2.2[9](830)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

La utilización de los Principios causales que hace JAC es característica de una concepción causal ontológica. A continuación destacamos algunas de las descripciones de modelos causales que tipifican razonamientos propios de esta concepción.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

Destacado en el análisis un total de 38 ocasiones, de las cuales 11 son antes de empezar el proceso de teachback. Por ejemplo, A1[5](010), A2[6i](010), A1[16](120), A2[23iii](200); B1[2](300), B2[8](340), B2[16ii](430); C[2](580), C'1[14](610), C1[17i](650); D[3](580), D0[1i](770), D'0[6](810), etc. Puede decirse que es el Principio Causal más utilizado por JAC en la construcción de los modelos causales explicativos de los Episodios de los distintos Sistemas A, B y C.

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

Destacado en el análisis en un total de 27 ocasiones, nunca en las explicaciones anteriores al teachback. Por ejemplo, A1[10i](080), A2[22](170), A2[18ii](140); B1[9](340), B'0[12i](370), B2[20i](540); C'1[14](630), C1[17](650), C''0[25](740); D1[7ii](820), D1[5](800), etc. En algunos casos el uso de un razonamiento basado en este Principio resulta muy claro. Por ejemplo:

- "¿La fuerza total?... Hombre, si aquí tiene impulso, y aquí acaba parada, desde luego decrece" (B1[13iii](400)).

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

JAC utiliza con frecuencia el Principio de Condicionalidad, es decir, enuncia *condiciones* para que en los Sistemas la acción causal se lleve a cabo del modo que lo hace. En el Análisis destacamos:

- *Condiciones estructurales*. Por ejemplo: que *se acabe el estante* es condición para que la bola empiece a caer (A2[3](010), A2[6](010), A2[G2](020), A2[17](130), A2[17i](130), A2[19](150)); que haya *irregularidades en el piso* (estante) es condición para que actúe la fuerza de rozamiento (A1[13i](090)); el *estante* condiciona la actuación del campo gravitatorio o la atracción gravitatoria (A1[21](170), A1[23ii](200)); que haya un *obstáculo* o una *pared* condiciona la parada de la bola (A1[30](280)); las *cuerdas* y el *punto de apoyo*, o que el columpio esté sujeto a algo, condiciona la trayectoria del movimiento del columpio (C"0[13](610), C1[16](630)).

- *Condiciones dinámico-estructurales*. Por ejemplo: que la bola esté a *cierta altura* y tenga una *determinada velocidad* condiciona que caiga con "caída libre" (A2[6i](010)); que el piso (estante) sea *horizontal* o *no tenga pendiente* condiciona que la velocidad de la bola por la estantería sea constante (A1[7](030), A1[7i](040), A1[10](080)); y si estuviese *inclinado* (el estante) condicionaría la actuación de la fuerza de la gravedad (A1[8](040)); la *distancia* a que la bola está de la fuente de un campo condiciona las fuerzas que actúan sobre esa bola (A2[24ii](220)); que la flecha *no alcance al ave* condiciona su caída (B'0[3](300)); y que se quede *parada* es condición para que actúe la atracción que la hace caer (B2[8](340)); y la *posición* de la fuerza de subida constante condiciona a la misma fuerza de subida (B1[11i](360)); que la *fuerza de Zape sea fuerte* y que Zipi no esté sujeto, condiciona que este último salga disparado (D0[1](760)).

- *Condiciones dinámicas*. Por ejemplo: que el *empuje sea fuerte* es condición para que Zipi salga disparado (D[3](580)); que la *fuerza del hombre sea mayor* que la *fuerza de la gravedad* es condición para que la flecha empiece a subir (B1[16i](340)). Y en general, *que se igualen* determinados candidatos causales es condición para que los materiales queden parados (Cfr. A1[29i](280), B'0[12i](370), C'0[19](680), C""[25](740), D'0[6](810), etc), estas últimas condiciones no señaladas en el análisis por no ser *explicitadas* como tales por JAC.

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

La utilización de este Principio por parte de JAC se ha destacado en el análisis en 9 ocasiones: A2[17i](130), A2.2[26](260), A2.2[28](270), B'0[7](840), B'0[12](370),

C'0[11](600), C"0[24i](730), C0(F)[27](740), D2.2[9](830). En todos los casos, para asegurar la correspondencia del modelo causal utilizado, tiene que cesar un determinado efecto. Esto sólo es posible, conservando el Principio de Univocidad, recurriendo a la Herística Canónica, es decir, convenir en que cesa la causa que producía tal efecto.

FAC también utiliza el Principio de Univocidad de forma positiva, es decir, argumentando con que a la misma causa le sigue el mismo efecto. Por ejemplo:

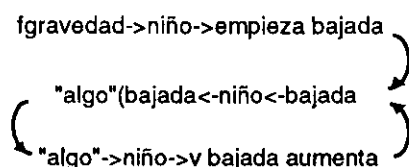
- "Pues hombre, al aplicarle aquí *la misma fuerza*... pues la velocidad que lleva durante todo este recorrido es constante; bueno, *la velocidad* del principio de aquí [Episodio A1] es *la misma* que la de aquí" (A1[9](050)).
- "[la velocidad es la misma, porque] hombre, es que es... no sé, es lógico, vamos. Si la velocidad de aquí la da una fuerza, la velocidad, si el piso es liso [horizontal], tiene que..." (A1[10](080)).

Incluso cuando no conoce la naturaleza del candidato que está utilizando "sabe" que tiene que estar relacionado con la fuerza de la gravedad, ya que produce su mismo efecto, es decir, hacer bajar:

- "¿Hacia abajo?... Vamos a ver [Pausa]... Esto es más complicado... Desde luego tiene que tener algo que ver con la fuerza de la gravedad... porque si no, se quedaría ahí siempre" (C2[22](690)).

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

No se ha destacado el análisis de manera explícita, aunque JAC lo utiliza implícitamente en todos los modelos causales construidos para explicar el funcionamiento de los Sistemas en los distintos Episodios. Un caso típico de utilización implícita, no destacado en el análisis por la falta de explicitación de JAC, es en el caso del candidato causal "algo" (Cfr. candidatos causales dinámicos en el apartado correspondiente), cuyo origen no específica. Se trata de un candidato causal probable de naturaleza dinámica que cumple las funciones de una "fuerza de bajada". Por el modo en que se refiere a este candidato causal, podría decirse que se origina en la "bajada", provocada ésta por la "fuerza de la gravedad", que deja de actuar una vez la bajada comienza. Funcionalmente, el modelo implícito podría venir descrito como:



(Cfr. C2[22](690), [22ii](700), etc).

3.LOCALIDAD

La utilización de este recurso por parte de JAC se pone de manifiesto en la libertad y flexibilidad con que utiliza los distintos candidatos causales, que son explicitados e introducidos localmente en muchas ocasiones, en la medida en que son necesarios para que los modelos causales de los distintos Episodios sean correspondientes y coherentes y se salvaguardan los otros Principios Causales.

Así, por ejemplo, aunque enuncia sin restricciones la acción del *campo gravitatorio* o *fuerza de la gravedad* (A2[22i](180), A[G6](180)), la realidad es que JAC impone restricciones locales a la actuación de este candidato causal. De manera que en A1, aunque está presente, no "actúa" (A1[21](170)); como tampoco "actúa", aunque esté presente, en todo el Sistema C, parte C (C1[G3](670), [21](690)); y en el Sistema C, parte D, actúa sólo en los Episodios de bajada, pero no en los otros Episodios, aunque sí esté presente (D0[2](790), D1[7i](820)).

Del mismo modo, otros candidatos causales también tienen un uso sólo local. Por ejemplo:

El *peso*: no se menciona en el Sistema A. Pero sí en el B, donde "actúa" junto con la fuerza de la gravedad para explicar la caída de la flecha (B2[15i](430), [16ii](440)), pero no en los Episodios en los que la flecha está quieta o sube (B0[1](300), B1[10](350), B1[11](350), B'0[12](370), B1[19](520)). En el Sistema C, partes C y D, sigue la misma suerte del candidato causal "fuerza de la gravedad", aunque siempre se conceptualiza como independiente de éste.

El *aire* es otro candidato causal que, aunque JAC conoce como elemento del entorno (Cfr. A2[22](170), B[G1](300), B1[11](350)), sólo actúa como tal en el Sistema C, partes C y D. Pero su actuación se ve restringida a los Episodios donde hace falta que un "rozamiento" frene el movimiento del material, y no se considera en el resto de los Episodios (Cfr. C'1[14](160), C1[17i](650), D1[7i](820)).

También por necesidad de mantener la correspondencia de los modelos causales explicitados, y siendo coherente con la restricción que impone a la actuación del "peso" y de la "fuerza de la gravedad" en el Sistema C, JAC introduce un candidato *local* en los Episodios de bajada, al que hemos llamado, "*algo*" (Cfr. C2[22](690) y ss.). Este candidato causal también "actúa" junto con la "fuerza suministrada" por Zipi, para producir el disparo de éste, y mantener su movimiento de subida (Cfr. D0[1i](770) y D1[5](800)).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

En las *explicaciones espontáneas* que JAC ofrece del funcionamiento de los Sistemas estudiados, utiliza casi exclusivamente modelos causales que presentan la estructura

1 causa - 1 efecto

(Cfr. A1[5](010), A2[6i](010), A1[G1i](020), A1[G3](020), B1[2](300), B2[8](340), C1[5](600)).

Sólo en una ocasión (B1[6i](340)) utiliza un modelo causal de estructura compuesta del tipo



Superposiciones

En 3 ocasiones JAC utiliza modelos causales simplificados para explicar con la relación

1 causa - 1 efecto

toda la dinámica de los Sistemas. Son los casos A[2](010), C[2](580) y D[3](580). En todos ellos se trata de verdaderas simplificaciones del funcionamiento real de los Sistemas, ya que JAC conoce, como demuestra más adelante, que el funcionamiento de cada Sistema es bastante complejo en cuanto a relaciones causales.

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS COSNTRUIDOS DURANTE EL PROCESO DE TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

En el análisis aparece representada la estructura causal que JAC ha utilizado para explicar los Episodios respectivos en 52 ocasiones. De estas, en 29 el modelo causal presenta la estructura

1 causa -> 1 efecto

1 efecto <- 1 causa

De modo que puede decirse que en el proceso de teachback se conserva la tendencia a explicar los Episodios con modelos causales que presentan la estructura causal más simple, siempre que los modelos sean en primera aproximación correspondientes y coherentes y se sometan a los Principios Causales. De hecho, es bastante normal que JAC, aun en los casos que "sabe" que en el Episodio actúan más de un candidato causal probable, empiece por explicarlo utilizando primero un sólo candidato causal, para más adelante completar la explicación en el transcurso de teachback. Esto sucede por ejemplo con A1[10](080) y [10i](080), que se explicará más adelante con una estructura compuesta (A1[11](080)); con B1[10](350), más adelante compuesta (B1[11](350)); C'1[14](610) y C'1[14i](630), más adelante compuesta (C1[17i](650)), etc.

Estructuras causales complejas

Varias causas, un efecto

En el análisis se han señalado 22 ocasiones en las que JAC ha hecho explícitos modelos causales en los que intervienen más de un candidato causal para explicar el funcionamiento del Sistema en el respectivo Episodio. Las estructuras son del tipo



La presentan, por ejemplo, las explicaciones dadas en A1[12](080), A2[18ii](140), A2.1[27](260), B'0[12i](370), B1[13](380), B2[16ii](430), C1[17ii](650), C'0[19](680), C''0[25](740), D0[1i](770), D1[5](800), D'0[6](810), etc.

En todas ellas se manejan candidatos causales "reales" y míticos.

Cadenas causales complejas

Sólo en una ocasión (A2[23iii](200)) JAC utiliza un modelo causal que presentan la estructura de una cadena causal compleja del tipo



La escasez de modelos causales con estructura de cadena no quiere decir que JAC "vea" el funcionamiento del Sistema como una serie de Episodios inconexos. Implica, en

primer lugar, que utiliza pocos (o ninguno) candidatos causales generados mediante la aplicación explícita del Principio causal de Asimetría (ver comentario a este Principio); en segundo lugar, que el principio de no-función en la estructura se impone en la construcción de las explicaciones. O dicho de otra forma: que el Principio de Localidad es determinante para la construcción de modelos correspondientes y coherentes.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

El recurso a las convenciones previstas en el modelo de Kleer y Brown es claro por parte de JAC, cuando son necesarias para mantener la correspondencia y coherencia de los modelos causales explicativos de los Episodios, salvando los Principios Causales. Como se verá a continuación.

CONVENCION AMPLIA

En las *explicaciones espontáneas* el recurso a la Convención Amplia es claro en los Episodios en los que el Sistema está *en reposo* (Cfr. A0[1](010), A0[4](010), B0[1](300), B0[5](340), C0[1](580), C0[4](600), etc.), aunque en ningún caso se explicita la Convención. No son casos en que JAC ignore la presencia de candidatos causales en los Episodios, sino que simplemente, y quizá debido a su conceptualización de lo que es una "causa" y un "efecto", considera que no "actúan".

En las explicaciones aportadas *durante el teachback*, JAC también utiliza la Convención Amplia en muchas ocasiones, esta vez tanto en Episodios en los que el Sistema está *en reposo*, como cuando está *en funcionamiento* (Cfr. A0[13](090), A1[8](040); B1[9](340), B1[10](350); C0[9](600), C1[18](660), C2[22i](700); D0[1](760), D1[G2](810), etc). En algunas de estas ocasiones la Convención se hace explícita. Por ejemplo:

- "El cuerpo quieto no tiene fuerza de rozamiento... o sea, no actúa la fuerza de rozamiento con el cuerpo quieto". (A0[13](090))
- "Hombre, no sé. Bueno, está actuando la gravedad, pero aquí,... más o menos, no sirve para nada". (A0 y A1[14](100))
- "Bueno, no sé. Hombre, campo gravitatorio hay también de A a C. Pero lo que pasa es que [la bola] tiene un obstáculo delante, que es el estante, porque lo que no hace es atravesar el estante". (A0 y A1[21](170)).

* JAC acaba de explicitar que en el Episodio C1 actúan la "fuerza de la gravedad" y el "peso" (Cfr. C1[18](660) y ss.). ENT prosigue:

ENT.- "Aha... ¿Tú crees que hace algún efecto, en D, por ejemplo, eso que tú has llamado peso y fuerza de la gravedad?

JAC.- ¿En D? [punto intermedio del Episodio]

ENT.- Sí. ¿Hace algún efecto?

JAC.- No, no afecta al movimiento".

(C1[21](690)).

* Del mismo modo, "peso" y "fuerza de la gravedad" no influyen en el movimiento de subida del Episodio D1:

- "Uhm... No, en el movimiento, no. El movimiento viene descrito por la fuerza total que se ve ahí". (D1[7ii](820))

HEURISTICA CANONICA

La utilización de la Heurística Canónica por parte de JAC aparece en las *explicaciones espontáneas* a los Episodios de los distintos Sistemas en dos ocasiones: B'0[7](340) y C0(F)[8](600). La simplificación de los modelos causales iniciales y el recurso a la superposición de Episodios evitan que sea necesaria.

Durante el *proceso de teachback* el recurso a esta Convención no es demasiado frecuente: tan sólo en 8 ocasiones (A2[17i](130), A2.2[26](260), A2.2[28](270), B'0[12](370), C'0[11](600), C''0[24i](730), C0(F)[27](740), D2.2[9](830)), de las cuales algunas son explícitas. Así, para conseguir la correspondencia de los modelos causales de los Episodios de bajada, en los que ha explicitado la existencia de dos velocidades V_x y V_y , hace "desaparecer" la velocidad V_x , para en un cierto momento la trayectoria del material pueda ser vertical:

- "Hombre, aquí la V_x se anula, el movimiento en esta dirección horizontal se anula, y... pues nada, continúa con el movimiento vertical". (A2.2[26](260)).
- "La V_x sería nula, y la otra, V_y , coincidiría con la velocidad resultante [y seguiría] una línea recta". (A2.2[28](260)).
- "Hace este movimiento hasta que la velocidad horizontal es cero, aquí en F... y sólo conserva la velocidad vertical". (D2.2[9](830)).

Y cuando quiere explicar la vuelta al reposo del columpio después de varias oscilaciones, explica:

- "La fuerza de rozamiento, y , vamos, la F_m [fuerza del hermano] ya ha desaparecido... Y la F_r también...". (Cf. C0(F)[27](740)).

Quizá la razón por la que JAC no necesite recurrir con tanta frecuencia a la Heurística Canónica es la utilización de un mecanismo que, según su conceptualización, puede explicar Episodios en los que el material se "para". Algunos de estos casos son A1[29i](280), A1[31](290), B'0[12i](370), B'0[14](420), C'0[19](680), C''0[25](740), D'0[6](810). En

todas ellas se explicita que las dos "fuerzas" que están manteniendo el movimiento son opuestas, y que, llegados a esos puntos de "parada", "se igualan" o se "anulan" mutuamente, para producir la parada. El problema está en que el mecanismo no explica nada, ya que para JAC, ambas "fuerzas" son "constantes", y la resultante de ambas, por consiguiente también es constante, y JAC no aduce razones para que esa "constante" disminuya.

Aunque en alguna ocasión durante el teachback parece darse cuenta de la ambigüedad de su modelo causal y trata de remediarla (Cfr. B1[13iv](410)), vuelve a emplearla en los Episodios similares subsiguientes (C'0[19](680), etc). Pensamos que es una forma original, quizá de transición, de emplear la Heurística Canónica sin "emplearla".

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

Examinando las explicaciones que JAC ofrece acerca del comportamiento de los Sistemas, se deduce fácilmente que para él el *prototipo de candidato causal probable* es una "fuerza" que actúa positivamente sobre el material para producirle un cambio dinámico perceptible (Cfr. A1[8i](040)). Incluso cuando no sabe nombrar el candidato causal que está utilizando, o que produciría un cierto efecto, le asigna la naturaleza de una "fuerza" (Cfr. "algunas fuerzas", A2[24ii](220), "algo" que es "una fuerza", (C2[22](690), [22i](700), C'1[24iii](730), etc).

También se deduce fácilmente de sus explicaciones, que el prototipo de *efecto* es un *cambio dinámico* que se produce en el Sistema por la acción de un agente causal. Por esta razón, cuando el candidato causal está presente, pero no produce ningún cambio perceptible en el Sistema, JAC afirma que no "actúa":

- "El cuerpo quieto no tiene fuerza de rozamiento,... o sea, no actúa la fuerza de rozamiento con el cuerpo quieto". (A0[13](090)).
- "Hombre, no sé. Bueno, está actuando la gravedad, pero aquí... más o menos, no sirve para nada". (A0 y A1[14](100)).

Posiblemente, esta concepción prototípica de "causa" hace que JAC utilice con preferencia candidatos causales dinámicos en lugar de candidatos causales estructurales; y la concepción prototípica de "efecto" condicionará posiblemente la utilización de la Convención Amplia cuando el posible efecto de un candidato causal sobre el material del Sistema no sea perceptible para JAC.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontaneas

Candidatos causales dinámicos

En las explicaciones que JAC ofrece acerca de funcionamiento de los Sistemas antes de comenzar el proceso de teachback, los candidatos causales que explicita son en primer lugar los "empujes" (A1 y A2[2](010), C[2](580)), "golpes" (A1[5](010)), o "fuerzas" (A1[G1i](020), A1[G3](020), B1[2](300), B1[6i](340), C1[5](600)) que ejercen sobre los Sistemas los agentes externos *hombre, ratón, hermano*. Una vez puestos en marcha los Sistemas, en una ocasión se explicita un agente causal mítico, generado en el primero, que mantiene el movimiento del Sistema. Es el caso del Episodio B1[6i](340), en que una "fuerza" se combina con la "atracción de la gravedad" para hacer que la flecha suba con un movimiento retardado. En los Episodios de bajada se explicita como agente causal la "aceleración de la gravedad" (A2[6i](010)), o "atracción de la gravedad" (B2[8](340)).

Candidatos causales estructurales

JAC menciona *elementos estructurales* de los Sistemas A, B y C en 9 de las 31 explicaciones que ofrece espontáneamente. Son éstos la *escoba* (A1 y A2[2](010), A1[5](010), el *estante* (A2[3](010)); el *arco* (B0[1](300), B1[6i](340)), la *cuerda* (B1[6i](340)); el *columpio* (C0[1](580), C1[5](600)) y las *ramas y cuerdas* (C0[4](600)). En ningún caso considera a estos elementos como candidatos causales probables, sino únicamente como soportes o condicionantes de la acción causal, es decir, como CONDUCTOS.

En conjunto, en relación a las explicaciones espontáneas de JAC habría que señalar:

- El funcionamiento de los distintos Sistemas se explica exclusivamente utilizando candidatos causales dinámicos.
- Los modelos causales del Sistema C, partes C y D, apenas se explicitan.
- La acción de la "gravedad" no se explicita en los Episodios de caída del Sistema C, partes C y D.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

De las 128 explicaciones que JAC ofrece acerca del funcionamiento de los Sistemas A, B y C, en solamente 17 de ellas hace mención explícita de elementos estructurales. Así, en el Sistema A menciona el *estante* (A1[21](170), A1[23ii](200)), el *fin del estante* (A2[17](130), A2[17i](130), A2[19](150)), que *no haya pendiente* o que el tablero esté *horizontal* (A1[17](030), A1[7i](040), A1[8](040)) y las *irregularidades del piso* (tablero) (A1[13i](090)). Sólo en ésta última ocasión se refiere JAC a un COMPONENTE. En los otros casos se refiere a los elementos estructurales como CONDUCTOS, o condicionantes de la acción causal. En el Sistema B sólo en una ocasión menciona un elemento estructural, la *cuerda*, en B1[9](340), y la considera como un CONDUCTO. En el Sistema C, parte C, menciona el *columpio* (C1[16](630)), las *cuerdas* y el *punto de apoyo* (C1[16i](640)), y el *aire* (C'1[14i](630), C1[17ii](650), C'1[24ii](730)), considerando el primero como un CONDUCTO y el segundo, un elemento del entorno del Sistema, que se incorpora a la topología del mismo, como un COMPONENTE, es decir como un constituyente que provoca cambios en los valores del material en los Episodios en los que interviene.

Tanto las *irregularidades del piso* (tablero) como el *aire*, generan el *rozamiento*, responsable del "frenado" del material, como veremos a continuación.

i) El "rozamiento"

El *rozamiento* es un candidato causal probable que JAC considera actuando en algunos Episodios de los Sistemas para conseguir la correspondencia y coherencia de los modelos causales explicativos de los mismos.

En el *Sistema A* se origina en las irregularidades de la superficie de la repisa (A1[13i](090)), y su función es explicar que la velocidad del material disminuye a lo largo del Episodio A1. Su introducción como candidato causal es producto de un "aprendizaje" espontáneo: Anteriormente al Episodio en que por primera vez se explicita el "rozamiento" (Cfr. A1[10i](080)), JAC había sostenido que la velocidad del material en A1 era "constante" (A1[7](030), [7i](040)) porque la "fuerza" que mantenía el movimiento era "la misma" (A1[9](050), [10](080)), y la "aceleración" era "nula" (A1[9i](060), [9ii](060)). En A1[10i](080) se da cuenta de que la velocidad no es la misma a lo largo de A1 y reconstruye el modelo causal del Episodio:

- "Bueno, no llevará la misma velocidad, porque se... por la acción del rozamiento, vamos; pero va frenando muy poco a poco". (A1[10i](680)).

A partir de aquí, el candidato causal explicará tanto la *disminución del movimiento* (A1[11](080), [12](080), [15i](110), [16](120)), como la *parada* de la bola sobre repisa (A1[29i](280), [31](290)).

En el *Sistema C, parte C*, también espontáneamente JAC "aprende" que el movimiento de subida en el Episodio C'1 es "frenado" (C'1[14](9610)). Pero como en ningún caso considera elementos estructurales como componentes (Cfr. C1[16](630), C1[16i](640)), recurre a un elemento del entorno del Sistema, el *aire*, como origen de este candidato causal (C'1[14i](630)). Antes de este momento, el *aire* había estado presente en los otros Sistemas (Cfr. A2[22](170), B[G1](300) y B1[11](350)), pero en ninguno de ellos había sido necesario incorporarlo a la TOPOLOGIA del Sistema y considerarlo en los modelos causales explicativos de los Episodios para que éstos fueran correspondientes y coherentes.

La función del candidato causal "rozamiento" en el Sistema C, como en el A, es la de explicar la *disminución del movimiento* en las subidas (C'1[14](610), [14i](610), [24ii](730), [24iii](730), C1[17i](650), [17ii](650)) y la *parada* momentánea del mismo cuando el material alcanza su altura máxima (C'0[19](680), C''0[25](740)).

En el *Sistema C, parte D*, el "rozamiento" se explicita en el Episodio de subida, D1[G2](810). Aunque el modelo causal del Episodio no se explicita, es claro que su función es la de explicar la *disminución del movimiento* de Zipi, y explicar la "*parada*" en D'0, sustituyendo las funciones que antes había atribuido a la "fuerza de la gravedad" en los Episodios (Cfr. D1[5](800), D'0[6](810), D1[7ii](820)).

Representación gráfica

En todos los casos, el "rozamiento" se representa con una flecha en la misma dirección y sentido contrario al "impulso" que "mantiene" el movimiento. Cfr. A1[G4]9090), C1[G2](660), D1[G2](810).

La conceptualización de este candidato causal por parte de JAC no coincide con la que explican los modelos de la Física Clásica escolar. Así, el rozamiento es "de las irregularidades del piso", o "del aire", pero parece que la bola no interviene en el fenómeno. Por otra parte la utilización de este candidato causal es *local* y sólo se explicita cuando es necesario para que, según JAC, el modelo que explica el Episodio pertinente se correspondiente, es decir, cuando su puesta en marcha mentalmente corre peligro de no coincidir con el funcionamiento del Sistema real en ese Episodio, no "actúa" o "desaparece"

cuando el Sistema está en reposo (Cfr. D0[13](090), C0(F)[27](740)), y no se menciona en ninguna ocasión en los Episodios de bajada.

Candidatos causales dinámicos

Después que los Sistemas han sido puestos en movimiento por la acción de los agentes causales exteriores, *ratón, hombre, y hermano*, JAC explicita una serie de candidatos causales de naturaleza dinámica, que son los responsables del funcionamiento de los Sistemas en los distintos Episodios. La "fuerza suministrada" se utiliza en los tres Sistemas, aunque ahora no vamos a estudiarla especialmente. Además de ésta, son particularmente destacables los siguientes:

- i) La "aceleración de la gravedad"
- ii) La "atracción gravitatoria"
- iii) El "peso"

Dada la relación que se da entre estos tres candidatos causales, y los cambios de conceptualización que se observa en JAC a medida que transcurre la entrevista, resulta difícil la interpretación separada de cada uno de ellos. No obstante los mantenemos separados, como hemos hecho en otras entrevistas, advirtiendo que en este caso no podrían entenderse con la lectura separada de cada uno de ellos.

i) La "aceleración de la gravedad"

Aunque JAC explicita diversos nombres para este candidato causal, tales como "aceleración de la gravedad" (A2[6i](010)), "fuerza de la gravedad" (A1[8](040)), "gravedad" (A1[G5](100)), "atracción de la gravedad" (B1[6i](340)), "fuerza de atracción" (B1[11](350)), "fuerza gravitatoria" (B'0[12](370)), hemos destacado el primero de ellos por ser el que en principio más claramente diferencia este candidato causal del que hemos llamado "atracción gravitatoria", como veremos más adelante.

Origen de la "aceleración de la gravedad"

El sucesivo empleo de los diversos nombres supone matices en la conceptualización de este candidato causal, que también se reflejan en la gradualidad con que se explicita su origen. Así en la parte de la entrevista relativa al *Sistema A* su origen no se especifica. Cuando se le pregunta por este aspecto sólo responde:

- "La aceleración de la gravedad es un valor que se toma... para calcular el movimiento de caída libre..." . (A2[20i](160)).

Y al preguntarle directamente acerca de la posible relación de este candidato causal con el campo gravitatorio terrestre, la niega expresamente:

- "¿La causa [el campo] por la que hay aceleración? ...No". (Cfr. A2[20ii](170)).

Sin embargo, en la parte de la entrevista relativa al Sistema B, sí explicita la relación. Aunque cuidadosamente no se refiere directamente al campo gravitatorio terrestre, sino a la Tierra:

- "¿Cómo que qué es lo que la está produciendo? [la "gravedad" de la flecha]. Eso viene desde fuera, desde el cuerpo, desde la Tierra, vamos". (Cfr. B2[17i](470)).

Funciones de la "aceleración de la gravedad"

Aquí también es necesario distinguir las funciones que se le asignan a este candidato causal a medida que se avanza en el proceso de teachback y JAC comenta el funcionamiento de los tres Sistemas.

En el *Sistema A* la función en un principio es *hacer caer* a la bola en el Episodio de caída (A2[6i](010)). Más adelante JAC explicita que la "fuerza de la gravedad" podría hacer bajar a la bola, si se levantara la repisa, en el Episodio A1 (Cfr. A1[8](040)). En coherencia con esta afirmación, explicita que la gravedad también actúa en los Episodios A0 y A1, pero:

- "Hombre, no sé. Bueno, está actuando la gravedad, pero aquí... más o menos no sirve para nada...". (Cfr. A0 y A1[14](100)).

Aunque luego retira esta convención por algo que le parece menos ambiguo:

- "La gravedad y la normal, que se anulan". (Cfr. A0 y A1[14i](100)).

En el Episodio de bajada, A2, JAC distingue la actuación de dos candidatos causales, la *aceleración de la gravedad* y la *atracción gravitatoria*, dejando muy clara la independencia de ambos (A2[20i](160), A2[20ii](170)). La función de la segunda es *hacer caer* y mantener un *movimiento constante* en la caída; la función de la primera es *producir una aceleración en el movimiento de caída* (Cfr. A2[23iii](200), A2.1[27](260), A2.2[28](270)):

ENT.- "¿Qué es lo que lo acelera?"

JAC.- Pues eso, la aceleración de la gravedad... la fuerza gravitatoria, vamos.

ENT.- Lo que tú has llamado aceleración de la gravedad o fuerza gravitatoria, ¿es una fuerza?

[Pausa]

JAC.- Sí, yo creo que sí.

ENT.- Aha... ¿Y está actuando en E, ... en D, ... y aquí también, encima de la tarima, en B?

JAC.- Sí, sí.

ENT.- Esa actuación, ¿tiene algo que ver con que el movimiento sea más rápido?

[Pausa]

JAC.- Pues hombre, claro, sí, sí que tiene que ver, porque si no caería siempre a la misma velocidad".

(A2[23iii](200), A2[24](210)).

Lo interesante de destacar aquí es la equivalencia con que JAC utiliza los términos *aceleración de la gravedad* y *fuerza gravitatoria*.

Efectivamente, en el comentario al Sistema B, *desaparece* el término *aceleración de la gravedad* en favor del de *fuerza gravitatoria*, que se utiliza como sinónimo de *atracción de la gravedad* (B1[6i](340) (B2[8](340)), y *fuerza de atracción* (B1[11](350), B1[13](380), B2[15](420)).

Las funciones que se especifican en este Sistema en principio son las mismas que en el Sistema A para los Episodios A0 y A2. También en un principio, no se considera la actuación de la fuerza gravitatoria en el Episodio de subida, B1 (Cfr. B1[9](340), B1[10](350)), aunque enseguida se especifica su actuación como un candidato causal probable que actúa juntamente con la "fuerza de subida" para *mantener el movimiento* (B1[11](350), B1[13](380), etc), y para *anularlo* en B'0 (Cfr. B'0[12](370), [12i](370), [14](420)). Justamente para mantener la coherencia de los modelos causales explicativos de estos Episodios B1 y B'0, JAC explicita que *la fuerza gravitatoria crece durante el movimiento de subida*:

JAC.- "Bueno. La fuerza de impulso en todos los puntos es la misma. Pero la fuerza resultante total en cada punto no es la misma, porque al estar actuando la fuerza gravitatoria cada vez más...

[Pausa]

ENT.- Aha... Entonces, ¿eso quiere decir que la fuerza gravitatoria... crece a medida que subimos? ...Porque si se va haciendo [la resultante] cada vez más pequeña... No sé si me explico.

[Pausa]

JAC.- ¿Qué si crece?

[Pausa]

ENT.- Es decir, ¿la fuerza total hacia arriba, crece o decrece?

JAC.- ¿La fuerza total? ...Hombre, si aquí tiene impulso y aquí acaba parada, ...desde luego decrece.

ENT.- Vale... Entonces, la fuerza gravitatoria, ¿crece o decrece?

(...)

JAC.- No sé. Para que queden igualadas, para que queden compensadas, desde luego tienen que ser... igual, vamos... que tiene que aumentarse".

(Cfr. B1[13i](390) hasta B1[13iv](410)).

Resumiendo lo visto hasta ahora, el candidato causal *aceleración de la gravedad* o *fuerza gravitatoria*, tiene las características de un candidato causal prototípico, es decir, de

una "fuerza", cuya conceptualización no coincide con la que propone el modelo científico escolar del que toma sus nombres. Esta "fuerza" no actúa en los Episodios en que el material está *parado y apoyado* (Cfr. A0[14](100), B0[6](340)), ni tampoco cuando el material se mueve por una superficie horizontal (Cfr. A1[8](040), A1[14](100)). En los Episodios en que el material sube en el aire verticalmente, *actúa juntamente con una "fuerza mítica"*, de manera que la resultante de ambas va disminuyendo; hasta que se igualan y el material se para. Lo cual implica que *este candidato causal crece durante el movimiento de subida*. En los Episodios de bajada, la actuación del candidato causal tiene como función *producir en el material movimientos acelerados*. En estos Episodios actúa juntamente con otras "fuerzas" tales como la "atracción gravitatoria" (A2[20](160), A2[20i](160)) y el "peso" (B2[15i](430), [16ii](440), etc.).

Es precisamente la incorporación del candidato causal "peso" lo que marca lo que parece ser una diferencia cualitativa en el uso del candidato causal "fuerza gravitatoria" en el Episodio de bajada del Sistema B. A partir de este momento, la función de éste pasará a ser la explicitada para el candidato causal "atracción gravitatoria" en los Episodios de caída de A2. Así, en B2[16i](340) se especifica que la fuerza gravitatoria "se mantendrá constante siempre"; que se origina "desde la Tierra" (B2[17i](470); y a pesar de no citar en directo el "campo gravitatorio", que es el origen explícito del candidato causal "atracción gravitatoria", en B2[18](490) equipara sus funciones explícitamente:

ENT.- "Ese crecimiento del movimiento [en la bajada], que me has dicho que es más veloz en F que en D, ¿tú crees que tiene alguna razón?

[Pausa]

JAC.- ¿Tiene alguna razón?... Bueno, porque el cuerpo se va acelerando cada vez más. Aquí [D] lleva menos aceleración, y aquí [E] más.

ENT.- Si... ¿Y tú sabes si hay alguna razón para que se acelere?... ¿Sí hay algo que produce esa aceleración, o...?

JAC.- La atracción

ENT.- ¿Esta Fg... o es otra cosa?... Antes me habías dicho: además de eso puede haber otra cosa.

[Pausa]

JAC.- Desde luego, lo que causa la aceleración... es la fuerza gravitatoria.

ENT.- La fuerza gravitatoria.

JAC.- O la atracción gravitatoria, es igual".

(Cfr. B2[18](490)).

De hecho, a partir de aquí la "aceleración de la gravedad" o "fuerza gravitatoria" pasa a tener la función de la "fuerza de atracción", y el "peso" o "masa" es el candidato causal que causa el movimiento variado en la bajada (Cfr. B2[20](530), hasta B[20iii](550), en el Sistema B).

En el Sistema C, parte C, este candidato causal (ya unificado en su significación y funciones), aunque esté presente no actúa (Cfr. C1[G3](670), [21](690)). En el Sistema C, parte D, en un primer momento se considera activo en el modelo causal de la subida (D1[5](800), D'0[6](810)), pero luego se reconstruye el modelo explicativo del Episodio y se considera que no "actúa" D1[7ii](820) pasando a ocupar su lugar y función la "fuerza de rozamiento del aire" (Cfr. D1[G2](810)). En los Episodios de bajada, aunque se dice explícitamente que sí actúa (Cfr. D1[7](810)) no se explicita su función.

Representación gráfica de la "aceleración de la gravedad"

En el Sistema A, se representa en el Episodio A1 por una flecha perpendicular hacia abajo, que parte del centro de la bola (A1[G5](100)). Según JAC, ese sería el "centro de masas". La flecha, rotulada con un g , aparece opuesta a otra que representa a la "normal", queriendo significar con esto que ambas se anularían.

En el Sistema B, se representa en el Episodio B1 con una flecha vertical hacia abajo, opuesta a otra que representa la "fuerza de subida". No la rotula. (Cfr. B1[13](380)).

En el Sistema C, parte C, la representa en el Episodio C1 con una flecha deslocalizada vertical hacia abajo, más larga que otra que representa el "peso", rotulada con F_g (C1[G3](670)). En la parte D del Sistema la representa del mismo modo en el Episodio de subida, D1 (Cfr. D1[G2i](810)).

Componentes

JAC no considera componentes en este candidato causal, ni en ningún otro.

Relación de la "aceleración de la gravedad" con otros elementos

Como hemos señalado, JAC no relaciona al principio de la entrevista este candidato causal con ningún otro elemento de los Sistemas. En el transcurso del teachback, JAC "aprende", "explicita", que la relación que existe entre este candidato causal y la "atracción gravitatoria" es tal que no pueden diferenciarse. También lo relaciona con el "peso", o la "masa", pero únicamente porque éste también actúa "hacia abajo" y porque también se representa "dentro del cuerpo" (Cfr. B2[16ii](440)).

ii) La "atracción gravitatoria"

La "atracción gravitatoria" o "atracción" es un candidato causal probable que JAC considera actuando en los Episodios de bajada del Sistema A. Lo explicita por primera vez en el comentario al Episodio A2[20](160), que es cuando lo necesita para que el modelo

causal del Episodio sea coherente y correspondiente. Efectivamente, JAC acaba de explicar que en la caída, la velocidad de la bola crece. Y lo explica con un modelo causal que ENT considera ambiguo, por lo que sigue el teachback centrado en este punto:

ENT.- "Vale... Y me has dicho que ese movimiento crece porque se produce la aceleración de la gravedad.

JAC.- Sí. La atracción gravitatoria, vamos.

ENT.- La atracción gravitatoria... ¿Qué tiene que ver la atracción gravitatoria con la aceleración de la gravedad? (...).

JAC.- No sé. La aceleración de la gravedad es un valor que se toma... para calcular el movimiento en caída libre... Y vamos, la atracción gravitatoria es.. no sé, yo lo cojo como un... como el campo gravitatorio, vamos, terrestre.

ENT.- Si... ¿Qué es eso?

JAC.- Un campo que crea alrededor suyo la Tierra para mantener los cuerpos, no se... en su superficie".

(A2[20](160) y A2[20i](160)).

La "atracción gravitatoria" tiene las características de un candidato causal prototípico: hace caer (A2[22](170), B2[15](410)), y mantener el movimiento en la caída (A2[24](210)); actúa junto con otras "fuerzas" (A2[23iii](200)), y puede contrarrestar la actuación de éstas (B1[11](350)) y hasta anularlas (B'0[12](370)).

La "atracción gravitatoria" actúa siempre (A2[22i](180)), en todos los sitios (A[G6](180)), y tiene un valor constante (A2[24i](210)). Su actuación es exterior y hacia abajo (A2[22ii](180)).

Origen de la "atracción gravitatoria"

Como se vió anteriormente, su origen es el "campo" gravitatorio terrestre, con el que llega a confundirlo en ocasiones (Cfr. A2[20i](160), A[G6](180)). A su vez el campo gravitatorio terrestre está relacionado con la masa de la Tierra (B2[17](460)).

Funciones de la "atracción gravitatoria"

En el Sistema A, la función de la "atracción" gravitatoria es *hacer caer* y producir un movimiento de caída con *velocidad constante*.

ENT.- "Esa actuación [de la aceleración de la gravedad], ¿tiene algo que ver con que el movimiento sea más rápido?

[Pausa]

JAC.- Pues hombre, claro, sí, sí que tiene que ver, porque si no, caería siempre a la misma velocidad.

ENT.- ¿Si no... qué?

JAC.- Si no hubiese campo se quedaría suspendido. Y si hay campo, pues... No, si no hay campo se quedaría suspendido, eso. Y si no, pues caería siempre a la misma velocidad constante". (...)

(Cfr. A2[24](210)).

En los otros Episodios (A0 y A1), aunque la atracción gravitatoria esté, no "actúa" (Cfr. A0 y A1[21](170), A1[23ii](200)).

En el Sistema B, la función de este candidato causal está prácticamente identificada con la de la "aceleración de la gravedad" o "fuerza de la gravedad", tal como allí se explica. Y lo mismo sucede con el Sistema C, partes C y D.

Relaciones de la "atracción gravitatoria" con otros elementos

La relación con el candidato causal "gravedad" la hemos expuesto anteriormente.

Es notable que, así como la "atracción gravitatoria", como ya señalamos, no se relaciona con la "aceleración de la gravedad" al principio de la entrevista, y sus funciones en el Sistema A están muy definidas y diferenciadas, en relación al "peso" tampoco se haga ninguna relación. Esto es coherente con la evolución del pensamiento de JAC, ya que el "peso" o la "masa" se explicitan por primera vez en el Sistema B, precisamente para asumir las funciones que tenía el candidato causal "aceleración de la gravedad", cuando éste empieza a asumir los de la "atracción gravitatoria". (Cfr. B2[15i](430), etc.).

Representación gráfica de la "atracción gravitatoria"

JAC representa la "atracción gravitatoria" en el Sistema A con una zona difusa, situada debajo de la repisa, alrededor de las bolas que caen (a pesar de que advierte que "está en todos los sitios..."). Las "fuerzas" las representa con flechas verticales hacia abajo, deslocalizadas. Aunque sitúa una flecha que parte del centro de una de las bolas que cae, mientras comenta:

- "Lo que pasa es que se representa aquí [centro de la bola] para que se vea... Digo yo que será así". (Cfr. A[G6](180)).

En los Sistemas B y C, vale lo dicho al comentar el candidato causal "aceleración de la gravedad".

Es claro que, según su representación gráfica, JAC no tiene asimilado el significado de las representaciones gráficas que se utilizan en la ciencia escolar para estos conceptos.

iii) El "peso" o "masa"

El "peso" o "masa" es un candidato causal probable que se explicita por primera vez en las explicaciones que JAC ofrece al funcionamiento del Sistema B. Antes no había sido necesario para conseguir salvaguardar la correspondencia y coherencia de los modelos causales construidos.

El "peso" se explicita primero con este nombre (B2[15i](430)). Desde el primer momento es clara su conceptualización independiente de la fuerza de la gravedad o atracción gravitatoria. Como ésta, "actúa hacia abajo" y se representa "dentro del cuerpo". Pero así como en el Sistema B, la atracción de la gravedad se explicita con un valor constante (B2[16i](430)), y por lo tanto no puede provocar movimientos variados en la caída (Cfr. A2[20](160) y A2[20i](160)), el "peso" o "masa" se presenta como un elemento que sí puede introducir *cambios* en el movimiento de caída. (Cfr. B2[15i](430), B2[20](530), y ss).

Funciones del "peso" o "masa"

Las funciones del "peso" o de la "masa" en el Sistema B, como ya se ha apuntado anteriormente, son *hacer caer* y provocar *un movimiento cada vez más rápido* en la caída. Son las funciones que, anteriormente a su aparición como candidato causal, había asumido la "aceleración de la gravedad": Al pasar ésta a identificarse con la "atracción gravitatoria", el "peso" o "masa" la sustituye en sus funciones en los modelos causales.

La necesidad que experimenta JAC de encontrar un candidato causal que pueda producir un movimiento variado en la caída es tal (Cfr. por ejemplo, A2[24ii](220)), que a falta de otro recurre al "peso". Esto es problemático, pues JAC conoce que el peso de los cuerpos no varía en las bajadas. Pero no lo explicita. Sino que desde el primer momento subraya aspectos de este candidato causal que podrían "variar" el movimiento que "produce" en el cuerpo. Así en B1[15i](430) señala la "proporcionalidad" que existe entre "peso" y "velocidad" ("una cosa que pesa menos, tarda más en caer"). Pero no parece cómodo con la solución, y más adelante explicita más su pensamiento al respecto:

ENT.- "¿El peso hace algo? [en la caída]

JAC.- ¿El peso?... Sí, tiene algo que ver. No es lo mismo que caiga una plumita que un bloque de... una tonelada.

ENT.- Si... Explícame un poco eso, porque...

JAC.- Bueno, eso viene representado por la masa que tenga el cuerpo. Depende de la masa que tenga el cuerpo caera más o menos deprisa.

ENT.- O sea, ¿tú crees que en la caída influye el peso?

JAC.- Sí... Yo creo que sí. Vamos, más que el peso quizá sea la masa lo que más influye.

ENT.- ¿En la caída?

JAC.- Sí".

(Cfr. B2[20](530) y [20i](540))

Como se ve, el énfasis se ha desplazado hacia la "masa", que parece desplazar como candidato causal al "peso", o definirse como "otro" candidato causal alternativo (ya que el "peso" es constante). Para eliminar esta ambigüedad, ENT prosigue:

ENT.- "Aha... O sea, que añadimos aquí [notas de la entrevista] "masa". Es decir, que hay tres cosas que están influyendo en la bajada...

JAC.- Bueno, la masa estaría incluida en el peso, porque como lo del peso es... mg, masa por la gravedad... estarían relacionados".

(B2[20ii](550)).

Aquí JAC hace explícito "g", un elemento que no había aparecido antes en la explicación como tal (sí en la representación gráfica de la "gravedad" como "fuerza de la gravedad"). En la Física escolar que JAC ha estudiado, "g" es el valor de la aceleración con que caen los cuerpos situados en un campo gravitatorio terrestre. Ante el nuevo dato, ENT prosigue:

ENT.- "Si... ¿Y caería... a distinta velocidad según fuera el peso,... o según fuera la gravedad, o...?"

JAC.- Pues no sé. Viendo que el peso es la masa por la gravedad, al ser más grande la masa, el peso también es grande; si la masa es más pequeña, el peso es pequeño.

ENT.- Y eso tiene que ver con que caiga más deprisa o más despacio.

JAC.- Pues hombre,... yo creo que sí, que tiene algo que ver".

(B2[20iii](550)).

En este momento, parece claro que el elemento "variable" que necesita JAC para producir un movimiento variable es la "masa". Pero ENT quiere que JAC confirme la sospecha. Después de dejar una pausa prosigue:

ENT.- Si... Si... Y es distinto de la gravedad... porque la gravedad es constante... ¿no?

JAC.- ¿La gravedad? Sí. Siempre tiene el mismo valor".

(B2[20iii](550)).

Como puede observarse, JAC conoce el modelo científico. Pero lo adapta a sus necesidades de encontrar un candidato causal probable que cumpla con los Principios Causales tal como él los tiene asimilados. Y parece evidente que para JAC un candidato causal constante debe producir un efecto constante. Como la "gravedad" al ser constante no puede tener la función de producir un movimiento variado en la caída, el papel se lo asigna a la "masa". Lo que JAC parece pasar por alto es que la masa puede variar de un cuerpo a otro, pero que para cada cuerpo también es constante.

En el Sistema C, parte C, el "peso", aunque se explicita, no actúa (Cfr. C1[G3](670) y [21](690)). En el Sistema C, parte D, se explicita en el Episodio de subida (D1[G2](810)), pero no influye en el movimiento (D1[7ii](820)). En los Episodios de bajada, aunque no lo explicita, parece tener la misma función que la "aceleración de la gravedad" tenía en los Episodios de bajada en el Sistema A (Cfr. D2.1 y D2.2[10](830)).

En resumen, el "peso" o "masa" tiene la función de *hacer caer* y de *variar el movimiento de caída* en los Episodios de bajada de los Sistemas B y C, parte D. Si el material está *suspendido*, como sucede en el Sistema C, parte C, o subiendo libre, como en los casos de los Episodios de subida B1, y D1, no realiza ninguna función.

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

- *Algo*: es un candidato causal probable mítico de naturaleza dinámica que JAC utiliza para explicar causalmente el funcionamiento del Sistema C, una vez que éste se ha puesto en movimiento por la acción de Zape. El recurso a este candidato causal es necesario, ya que en éste Sistema JAC aplica la Convención Amplia acerca de las actuaciones del "peso" y de la "fuerza de la gravedad" o "atracción gravitatoria". (Cfr. C1[21](690)). Lo explicita como "una fuerza" (C'1[24iii](730)), y realiza las funciones propias de un candidato causal prototípico: produce "empujes" (C2[22i](700)) y se compone con otras "fuerzas" (C'1[25](740)). Su *función* en la parte C del Sistema C es *provocar y mantener los movimientos de bajada* (Cfr. C2[22](690), [22i](700), [22ii](700), [22iii](720), C'2[26](740)), y *subida* (C'1[24iii](730)). En la parte D, también *provoca* (D0[1i](770)) y *mantiene* (D1[5](800)) el movimiento de subida de Zipi. Y en los Episodios de paradas transitorias de este Sistema, su función es componerse con la "fuerza de rozamiento del aire" para explicar la "parada" del material (Cfr. C''0[25](740), D'0[6](810)).

- *Normal*: es un candidato causal probable mítico al que JAC recurre para "anular" la acción de la "gravedad" (A0 y A1[14i](100)) y el "peso" (CO(F)[27](740)) en los Episodios señalados, evitando así la utilización de la Convención Amplia. No la define, pero por su función parece que la conceptualiza como un candidato causal prototípico ya que "anula" fuerzas, y, como la "gravedad", actúa "en el centro de masas" de la bola. La representa con una flecha vertical hacia arriba, opuesta a la que representa "g" (Cfr. A1[G5](100)), y rotulada con la letra N.

- *Tabla inclinada*: podría hacer caer a la bola (A1[8](040)), porque permitiría que actuase la "fuerza de la gravedad".

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CIC

CIC es tímida. Al principio se expresa con pocas palabras y parece que trata de recordar lo que le han enseñado en las clases de Física. A medida que avanza la entrevista habla más y expresa con más soltura y confianza su propio pensamiento. Con frecuencia recurre a reglas elaboradas por ella misma para explicar el comportamiento de los Sistemas. En sus explicaciones parece utilizar el menor número de candidatos causales posibles, siempre que se salve la correspondencia del modelo causal. Recurre con frecuencia a la Heurística Canónica y Convención Amplia. Llama la atención que en ningún caso mencione ni el "peso" ni la "masa".

1. DIVISION EN EPISODIOS

Los Episodios en los que CIC divide el comportamiento de los distintos Sistemas representados en los Comics son los siguientes:

- **Sistema A:** **A0**, que primero permanece implícito (Cfr. A0[1] y A0[4](010)) y después se explicita (Cfr. A0[7](040)); **A1** (Cfr. A1[2](010)), en el que describe un movimiento horizontal mantenido por una "fuerza" mítica (Cfr. A1[10](080)), de velocidad decreciente (Cfr. A1[18i](200)); **A2** (Cfr. A2[3](010)), en el que describe un movimiento de caída vertical (Cfr. A2 [13](100)) creciente (Cfr. A2[16](130)).

- **Sistema B:** **B0**, implícito primero (Cfr. B0[1](230)), y explícito más adelante (Cfr. B0[6](270)); **B1** (Cfr. B1[2](230)), en el que se describe un movimiento de subida vertical mantenido por una "fuerza" mítica (Cfr. B1[7] (270)), de velocidad decreciente (Cfr. B1[11i](300)); **B'0** (Cfr. B'0[3](230)), punto en donde la flecha no sigue subiendo, y que en un principio representa como un Episodio de transición **B'0-B2** (Cfr. B'0-B2[G1](230), B'0-B2[G2](240)) y que rápidamente rectifica para volver a ser **B'0**, descrito con la característica de que la "fuerza" mítica se acaba (Cfr. B'0[G3](250) y B'0[8](270)) y la flecha se para (Cfr. B'0[15](310)); **B2** (Cfr. B2[4](230)), Episodio en que la flecha baja verticalmente por acción de la "ley de la gravedad" o "fuerza de la gravedad" (Cfr. B2[9](270)) con una velocidad creciente (Cfr. B2[19](320)).

- **Sistema C**, parte **C**: **C0**, episodio implícito (Cfr. C0[4](450)); **C1** (Cfr. C1[5](450)), Episodio de subida mantenido por una "fuerza" mítica (Cfr. C1[6](460)) que disminuye (Cfr. C1[7i](490)); **C'0** (Cfr. C'0[8](500)), donde esta "fuerza" mítica se agota; **C2** (Cfr. C2[9](500)) donde "fT" (fuerza o ley de la gravedad) provoca la bajada y crea una "fuerza de

bajada" mítica creciente, que provoca una velocidad creciente (Cfr. C2[10](510)). Más tarde CIC parece conceptualizar en un sólo Episodio, C2 - C''0 - C'1, los C2, C''0, C'1 (Cfr. C2-C''0-C'1[11](520) y C2-C''0-C'1[12](540)), con la fuerza mítica de bajada responsable de todo el movimiento de subida y bajada del Columpio; pero que enseguida especifica como C2 (Cfr. C2[16](550)); C''0 (Cfr. C''0[17](550)), descrito con la característica de que el columpio no se para; C'1, descrito como un movimiento de subida provocado por una "fuerza" mítica (Cfr. C'1[18](550)); C'''0, donde el "impulso" mítico anterior se acaba (Cfr. C'''0[13](550)); C'2, movimiento de bajada provocado por "fT" y mantenido por una "fuerza de bajada" creada por la misma (Cfr. C'2[20](550), C'2[21](580)); C0(F), donde el columpio se para definitivamente (Cfr. C0(F)[22](600) y C0(F)[22i](600)).

- **Sistema C**, parte **D**: **D0**, (Cfr. D0[1i](670)); **D1**, descrito como una subida, describiendo una recta inclinada, mantenida por una fuerza mítica decreciente (Cfr. D1[2](680)); **D'0**, punto más alto de la trayectoria, donde se pierde fuerza y comienza la bajada (Cfr. D'0[3](680)); **D2**, movimiento de bajada que describe una recta inclinada a partir de D'0 (Cfr. [G4](660)), pero que más tarde se describe como una caída vertical con velocidad creciente a partir del mismo punto (Cfr. D2[10](700)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

CIC utiliza espontáneamente los Principios Causales característicos de una concepción causal ontológica. En el Análisis destacamos algunas de las descripciones del comportamiento de los Sistemas en las que se ponen de manifiesto especialmente los usos de estos Principios:

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

El modo de razonar causalmente expresado por el Principio de Constancia parece utilizado por CIC preferentemente en los siguientes Episodios: A1[2](010), A1[9](060), A1[9i](070), A1[10i](080), A1[18i](200); B1[2](230), B1[7](270), B2[9](270), B'0[12](300), B1[17](320), B'0[18](320), B'0[18i](320), B2[20](350); C[2](370), D[3](370), C1[5](450), C2[10](510), C2-C''0-C'1[11](520), C1[14](550), C2[16](550), C[21i](580), C0(F)[22i](600); D1[2](680), D1[2i](680), D1[8](690), y D1[11](720). De estas 26 explicaciones, 8 se producen antes de que empiece el teachback. Parece que es el Principio que más ayuda a CIC a expresar su pensamiento causal espontáneo. De hecho, es el único Principio que destaca en la construcción de los modelos causales iniciales.

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

El Principio de Productividad (el efecto es *generado* por una causa) es enunciado por CIC refiriéndose al Sistema A, pero de forma más general:

- "Lo primero es que una cosa no se puede mover por sí sola, necesita algo que le haga moverse" (A0[7](040)). "No lleva fuerza por sí solo" (A2[16v](170)).

Y utilizado para explicar el comportamiento de los distintos Episodios de todos los Sistemas. Así en A1[12](100), A1[14](100), A2[15ii](110), A1[18ii](200), A1[18iv](210); B1[11i](300), B1[14](310), B2[19i](330); C1[6](460), C1[7](470), C2-C"0-C'1[12ii](540); D0[1i](670), D2[10](700), D2[10i](710)).

Hacemos notar que en ninguno de estos 16 casos CIC utiliza este Principio antes de empezar el teachback.

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

CIC utiliza el Principio de Condicionalidad, enunciando *condiciones* para que la acción causal se lleve a cabo en los Sistemas, de manera que su dinámica quede explicada. Distinguimos:

- *Condiciones estructurales*. Así, el *final de la tabla* es condición para que la bola empiece a caer (Cfr. A2[3](010), A2[6](010), A2[6i](020), A2[17iv](180)) y para que empiece a actuar la gravedad (A2[16i](140), A2[17iii](180)); el *final de la tabla* y que el *aire es más denso* en la Tierra que en la Luna, también es una condición para que la bola caiga (A2[16iii](150)); las *cuerdas* y las *ramas* a las que están atadas, condicionan las trayectorias descritas en las subidas y bajadas en el Sistema C (Cfr. C1[5](450), C1[6](460), C1[7](470)); el *soltarse* de Zipi, condiciona el que salga disparado del Columpio (Cfr. D0[1i](670)).

- *Condiciones dinámico-estructurales*. Así, que *la tabla termine* y que *se acabe la "fuerza"* que impulsa a moverse a la bola sobre ella, es condición para que ésta empiece a caer (Cfr. A2[11](090), A2[13](100), A2[15](110), A2[15i](110)). Hay que hacer notar lo pertinente de esta condición, ya que CIC describe A2 como un movimiento de caída vertical.

- *Condicionamientos dinámicos*. Así, que *la fuerza del impulso* (*f_i*, mítica) *sea mayor que la f_T* (fuerza o ley de la gravedad) es condición necesaria para que *f_T* no actúe en la repisa (Cfr. A1[17iv](180)); que *la fuerza del impulso* (mítica) *se agote*, es condición necesaria para que la flecha empiece a caer (Cfr. B2[9](270)); que *ésta f_i sea mayor que f_T*, es condición para que la flecha suba (Cfr. B1[11](290)); que *f_T sea mayor que f_i*, es, por último, condición

para que empiece a actuar en la flecha la "atracción" de fT (Cfr. B'0[18] (320) y B'0[18i](320)). Del mismo modo, fT debe ser mayor que la "fuerza del impulso" (mítica), para que el Columpio baje (Cfr. C2[9](500)), y la fuerza de Zape tiene que ser mayor que antes para que Zipi salga disparado (Cfr. D[3](370)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

Se ha destacado la utilización por parte de CIC de este Principio en los siguientes Episodios: A2[13](100), A2[15](110), A1[18](190), A1[18iii](210), B'0[8](270), C'0[8](500), C''0[13](550), C'0[15](550), C'''0[19](550), C[21](560), C[21i](580), C0(F)[22](600), D'0[3](680), D'0[9](700). Son situaciones en las que para que el modelo causal del Episodio sea correspondiente, un "efecto" debe cesar. El único modo de hacerlo, preservando el Principio de Univocidad, es hacer desaparecer la causa que provocaría este efecto, en caso de actuar. CIC consigue esto con el recurso a la Heurística Canónica, como veremos más adelante.

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

El Principio de Asimetría es siempre preservado por CIC. En nuestro análisis lo hemos destacado en tres ocasiones, A1[5](010), A1[8](080) y C2[21i](580). Son casos en los que el modelo del Episodio adopta la forma de cadena causal en la que se articulan candidatos causales reales y míticos. Es particularmente interesante el Episodio C[21i](580), en el que CIC trata de resumir toda la dinámica del Sistema C, parte C, explicitando una cadena causal, en la cual, para salvar la correspondencia y coherencia del modelo causal, se ve en la necesidad de manejar un candidato causal probable mítico, generado por fT , introduciendo una secuencia ficticia para formar la cadena causal.

3. LOCALIDAD

Destacamos en el *Sistema A*: La "ley de la gravedad", o "fuerza de la gravedad" (fT) no "actúa" en los Episodios A0 y A1 (Cfr. A0[7](040), A0[17](170), A1[17iii](170), A1[18ii](200), etc), a pesar de que CIC afirma que "actúa en todas partes" (Cfr. A0[17](170)). En cambio, sí actúa en A2, cuando acaba la repisa (Cfr. A2[16iv](160)) y es necesaria para explicar la bajada.

En relación al *Sistema B* : El razonamiento local de CIC se pone de manifiesto también en el modo de concebir la "actuación" de fT : la primera vez que la explicita es en el Episodio B2 (Cfr. B2[9](270)) porque es necesaria para explicar la bajada. En realidad CIC mantiene también en este Sistema que fT actúa en todas partes y tiene un valor constante

(Cfr. B2[9i](280) y B'0[18](320)). Pero afirma que en B0 no actúa, porque el sistema está en reposo (Cfr. B0[13](310)); ni tampoco en B1, porque hay una "fuerza" mayor que fT, que es la que realmente actúa (Cfr. B1[11](290)). Aunque para mantener la correspondencia del modelo causal, éste último modelo se reconstruye, considerándose la actuación de fT (Cfr. B1[11i](300), B1[14](310), etc).

En cuanto al *Sistema C, parte C* : Destacamos la flexibilidad en utilizar localmente, según la conveniencia de CIC para hacer que sus modelos sean coherentes y correspondientes, los distintos candidatos causales. Así, en C0 sólo actúa el empuje de Zape (C0[4](450)); este mismo candidato causal, convertido en una fuerza mítica, hace que Zipi suba, en el Episodio C1; en C'0 esta "fuerza" se agota, y comienza a actuar fT (C2[9](500)), cuando es necesaria para preservar la correspondencia del modelo causal del Episodio. Pero, dado que la velocidad de bajada aumenta (C2[10](510)) y fT es "constante", en C2 es necesario otro candidato causal local para preservar la coherencia y correspondencia del Sistema. Así, fT genera un candidato causal mítico, la "fuerza de bajada" (Cfr. C2-C'0-C'1[11](520)) para completar la explicación de la dinámica de todo el Sistema. Estos dos candidatos causales se emplean localmente, actuando en unos u otros Episodios, según CIC entiende que son necesarios para explicar con coherencia y correspondencia el comportamiento del Sistema (Cfr. C[21i](580) y C0(F)[22i](600)).

En la *parte D del Sistema C* : También se observa la misma adaptabilidad local en el uso de los candidatos causales, reales o míticos, por parte de CIC. Así, aunque C'0 coincida con D0, CIC nunca cita fT actuando en D0, aunque sí actuaba en C'0 (Cfr. D0[1i](670)); fT tampoco actúa en el Episodio D1 (Cfr. D1[8](690)), ya que basta la "fuerza" mítica inicial para explicar este movimiento de subida; pero sí actúa en D2, porque es necesaria para explicar la bajada de Zipi (Cfr. D2[10](700)). Aunque más adelante, para hacer el modelo causal correspondiente y coherente, incorpora este candidato causal también en la subida (Cfr. D1[11](720)).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

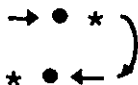
ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES.

La estructura causal utilizada casi exclusivamente por CIC en sus *explicaciones espontáneas* acerca del funcionamiento de los distintos Sistemas, presenta la estructura

1 causa - 1 efecto

(Cfr. A1[2](010), B1[2](230), B1[7](270), B2[9](270), C1[5](450)).

Sólo en una ocasión (A1[5](010)) maneja explícitamente un modelo causal con una estructura del tipo



Superposiciones

La tendencia espontánea a manejar esta estructura simple se observa en las primeras explicaciones que CIC ofrece del Sistema C. Tanto para la parte C como para la D, el modelo inicial explicativo también tiene la estructura

1 causa - 1 efecto

(Cfr. C[2](370), D[3](370)). Como se ve en sus explicaciones durante el teachback, se trata de modelos causales muy simplificados, que conllevan numerosas superposiciones no especificadas.

En todos estos modelos el razonamiento utilizado por CIC ha sido el de ir de la causa al efecto, predominando por tanto el Principio de Constancia.

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

De las 45 ocasiones en que se ha explicitado la estructura causal de los modelos que utiliza CIC para explicar el comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios, 33 presentan la estructura simple

1 causa -> 1 efecto (Constancia)

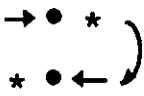
1 efecto <- 1 causa (Productividad)

Esto quiere decir que se observa en CIC la tendencia a recurrir también durante el proceso de teachback, a modelos causales simples, siempre que pueda salvar la correspondencia y coherencia de dichos modelos. Así, tienen esta estructura los modelos

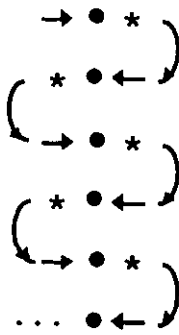
causales explicativos de los Episodios A1[9](060), A1[12](100), B1[11](290), B2[19i](330), C1[6](460), C2[9](500), D0[1i](670), D1[2](680), etc.

Cadenas causales simples

En dos ocasiones los modelos causales utilizados por CIC presentan una estructura de cadena simple. Una de ellas (A1[10](080)) presenta la estructura:



Mientras que la otra es una explicación global al funcionamiento del Sistema C, parte C, (C[21i](580)) y presenta la estructura:

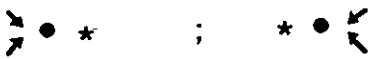


En las dos cadenas se manejan candidatos causales reales y míticos para explicar los comportamientos de los Sistemas en los Episodios señalados.

Estructuras causales complejas.

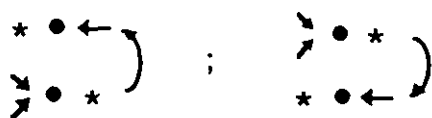
Varias causas, un efecto

La utilización de más de un candidato causal para explicar el comportamiento de los Sistemas no es muy frecuente en CIC, que recurre con más facilidad a la Heurística Canónica y a la Convención Amplia que a la construcción de modelos más complejos. Son estos los casos de las explicaciones dadas a los Episodios A2[16iv](160), A1[18iv](210), B'0[12](300), B1[14](310), B'0[18](320), B'0[18i](320), C0(F)[22i](600), D1[11](720). Las estructuras son del tipo:



Cadenas causales complejas

En sólo dos ocasiones CIC construye modelos causales con estas estructuras. Son las que explican el comportamiento de los Sistemas en los Episodios B1[11i](300) y B1[17](320), de estructuras:



En ambos casos se manejan candidatos causales reales y mágicos.

Señalamos que del total de estas 10 ocasiones en que CIC maneja estructuras causales complejas, 6 están referidas al Sistema B.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

En las explicaciones a los distintos Episodios que constituyen los Sistemas A, B y C, CIC utiliza la *Convención Amplia* y la *Heurística Canónica*, tal como se prevía en el modelo y se explicita a continuación.

CONVENCION AMPLIA.

En las *explicaciones espontáneas*, CIC recurre a la Convención Amplia cuando los Sistemas están en reposo. Así, A0[1](010); B0[1](230), B0[13](310); C0[1](370), C0[4](450). Los casos B0 y C0 son los más notables, ya que en las explicaciones dadas a los Episodios del Sistema A, ya CIC ha explicitado que "fT" "actúa en todas partes" (Cfr. A0[17](170)).

Durante el *teachback*, recurre a la Convención Amplia en las explicaciones causales de los Episodios en los que los Sistemas están en reposo (Cfr. A0[7](040), A0[17](170), B0[10i](280), B0[13](310)) y en los que se están moviendo (Cfr. A1[17iii](170), A1[17iv](180), A1[18ii](200), A1[18iv](210); B1[11](290), C[21](560), C[21i](580), D1[2](680), D0[1i](670) y D1[8](690)).

CIC explicita en algunas de sus explicaciones la utilización de la Convención Amplia y las razones que la mueven a ello. Por ejemplo:

- "... Esta fuerza [fT] también actúa. Actúa por todas partes"... "porque si no iría volando". (A0[17](170)).

Pero no hace efecto en el movimiento porque:

- "Porque esta fuerza inicial [fi] es mayor. Y porque tiene espacio aquí abajo... hacia donde atraerle... porque si quitamos de repente la repisa, se cae". (A1[17iv](180)).
- "Todo cuerpo cuando está en estado de reposo no tiene ninguna fuerza, está ahí. Entonces tiene que haber una fuerza mayor que esta de la ley de la gravedad [fT] que haga que suba para arriba". (B0[10i](280)).

HEURISTICA CANONICA.

CIC también recurre con facilidad a la Heurística Canónica: un total de 16 veces a lo largo de todas las explicaciones. Lo hace para asegurar la *correspondencia* de los modelos causales contruidos para dar cuenta del comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios. Estos Episodios son aquellos donde los distintos Sistemas cambian de dirección o sentido en el movimiento, o se paran definitivamente: Para conservar el Principio de Univocidad, CIC tiene que hacer "desaparecer" los candidatos causales probables que mantenían el movimiento para "posibilitar" la parada final, o la actuación de otro candidato causal que explique el cambio de dirección o de sentido que experimenta el material. Así tanto en las explicaciones *espontáneas* (B'0[8](270)) como en las producidas durante el proceso de teachback, la "fuerza" (mítica) "se acaba" (A2[13](100), A2[15](110), A1[18](190); B'0[8](270), C''[13](550), C'0[15](550), C''[19](550), C[21](560), C[21i](580), D'0[9](700)); "desaparece" (A1[18iii](210)), "se agota" (C'0[8](500)). En algún caso CIC explica la utilización de la Heurística Canónica. Por ejemplo:

- "Yo veo claro que aquí es... Osea, en el momento que das un golpe a algo... la fuerza es muy grande. Pero luego, si no sigues dándole golpes, pues llega un momento en que esa fuerza y esa causa... desaparecen. Si no, nos estaríamos moviendo todo el rato" (A1[18iii](210)).

Al cuestionar a CIC acerca de la *coherencia* y *robustez* de estos modelos causales, es capaz de reconstruirlos en algunos casos, explicitando algunos "mecanismos" por los que estos candidatos causales dejan de surtir su efecto, aunque no desaparezcan. Son los casos B'0[12](300) y, potencialmente, D1[11](270). En los demás casos se mantiene la Heurística Canónica hasta el final, ya que CIC carece de candidatos causales probables a los que recurrir. Esto no quiere decir que no se dé cuenta de la ambigüedad de los modelos así resueltos (Cfr. C0(F)[22i](600)).

6. CANDIDATOS CAUSALES.

PROTOTIPOS

De las explicaciones de CIC, aparece claro que el prototipo de candidato causal probable es "una fuerza o movimiento" (A0[8](050)), utilizados como sinónimos desde el punto de vista causal: "siempre es algo que se mueve a su vez". Por esta razón

- "Para que un cuerpo cualquiera se mueva necesita de otro movimiento, o sea, de una fuerza". (B0[10i](280));

Y la "fuerza" puede llegar a "pararse":

- "...Entonces, en 4, llega un momento en que esta fuerza se para"... "llega un momento en que [la fuerza] se para otra vez". (C[0][21i](580)).

Esta concepción causal de "fuerza" ligada al "movimiento", influye mucho en la utilización que CIC hace de la Convención Amplia: Aunque existan "fuerzas" actuando en un Episodio, si en éste el Sistema está en reposo, "no tiene ninguna fuerza", simplemente "está ahí" (Cfr. B0[10i](2280)).

Cuando CIC no conoce al candidato causal probable que produce un cierto efecto también le llama "fuerza":

- "Lo que pasa es que es muy difícil expresarte si no conoces los nombres de las fuerzas" ... "Pues sería una *fuerza* de caída". (A2[15ii](110)).
- "Hay una *fuerza* que siempre tiende a que las cosas que estén en movimiento paren" (C0(F)[22i](600)).

Del mismo modo aparece claro en CIC su concepción prototípica de *efecto*: un cambio dinámico en el Sistema producido por un agente causal. Por esta razón, cuando el Sistema está en reposo la fuerza de la gravedad "no actúa", porque su "efecto" es estático:

- "si no, iría volando" (Cfr. A0[17](170))
- "hace que se mantenga en reposo" (Cfr. B0[13](310))
- "le atrae hacia la tabla en la que está sentado" (Cfr. C2[9](500))

Esta puede ser también la razón por la que CIC recurre en tantas ocasiones a la Convención Amplia, al construir los modelos causales que explican el comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontaneas

Candidatos causales dinámicos

Los candidatos causales utilizados por CIC en sus explicaciones espontáneas acerca del funcionamiento de los Sistemas A, B y C, son, en primer lugar, las "fuerzas" o "golpes" de los agentes externos *ratón* (A0[1](010), A1[2](010)), *hombre* (B0[1](230), B1[2](230)) *hermano* (C[2](370), D[3](370)). Estas "fuerzas externas" (A0[4](010), A1[5](010),

A[G1](020)) ponen en marcha el funcionamiento de los Sistemas, y generan otros candidatos causales ("impulso" (A1[5](010)), "fuerza" (B1[7](270)), "empuje" (D[3](370)), de naturaleza mítica, que mantienen ese movimiento.

Sólo en una ocasión se explicita espontáneamente un candidato causal probable para dar cuenta de los Episodios que expresan caídas o bajadas: en B2[9](270) se dice que la flecha baja por "la misma ley de antes", refiriéndose a la "ley de la gravedad". Como veremos más adelante, ya en explicaciones anteriores referidas al Sistema A, CIC había explicado que la "ley de la gravedad" es una fuerza de la Tierra que atrae hacia abajo (Cfr. A2[16iv](160)).

Candidatos causales estructurales

A pesar de que en las descripciones espontáneas de los Sistemas y en las explicaciones al comportamiento de los mismos, CIC incluye *elementos estructurales*, en todos los casos son considerados como CONDUCTOS, es decir como elementos que sólo soportan o condicionan la acción causal. Así, cita la *escoba* (A1[1](010), A[G1](020)); la *repisa* (A1[2](010), A2[3](010), A2[6](010), A2[6i](020)); el *columpio* (C0[1](370)); las *cuerdas* y las *ramas* a la que están atadas (C1[5](450)).

Esta resistencia a considerar a los elementos estructurales como COMPONENTES, hace que CIC tenga que recurrir a candidatos causales míticos o a las Convenciones (Convención Amplia y Heurística Canónica) para preservar la coherencia y correspondencia de los modelos causales construidos para explicar los Episodios.

Puede, pues, decirse, que los candidatos causales que CIC utiliza como más probables en la construcción de los modelos causales iniciales son los *dinámicos*. Los *estructurales* sólo se mencionan como *condicionantes* o *soportes* de la acción causal.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

De un total de 84 explicaciones que CIC ofrece durante el proceso de teachback, solamente en 14 de ellas enumera elementos estructurales de los Sistemas, y en dos ocasiones cita elementos externos a los mismos. En 15 de estas ocasiones estos elementos son considerados como CONDUCTOS. Sólo en una de ellas se considera como COMPONENTE. Es el caso de *una tabla* que sirve de obstáculo al movimiento de la bola en el Episodio A1, ejerciendo una fuerza contraria a la que lleva la bola (mítica), y que le hace pararse (A1[18iv](210)).

Los otros elementos estructurales son: la *escoba* (A0[7](040)), la *repisa* (A1[19iv](070)), A1[17iii](180)); el *final de la repisa o borde* (A2[11](090), A2[13](100), A2[15](110), A2[15i](110), A2[16i](140), A2[17iv](180)); *final de la repisa y aire más denso* (A1[16iii](150)); *cuerdas y ramas* C1[6](460), C1[7](470); *tabla del columpio* (C2[9](500)); y *soltarse* (D[1](670), D0[1i](670)).

Llama la atención que en el sistema B no se mencione ningún elemento estructural. Y que en el Sistema A se cite un elemento del entorno (el aire) como un elemento estructural que también condiciona su funcionamiento.

También se destaca el recurso a un elemento estructural exterior al Sistema (la tabla) para considerar al mismo como un COMPONENTE. Quizá esto sea una muestra de la resistencia de los sujetos a utilizar como candidatos causales probables a los elementos estructurales de los Sistemas, a los que sólo conceden el papel causal de *condicionantes* pasivos. Téngase en cuenta que CIC ha cursado varios cursos de Física. Por esto es más notable que en ningún caso recurra, por ejemplo, al "rozamiento", para explicar el comportamiento de los Sistemas en algunos de sus Episodios.

Candidatos causales dinámicos

Una vez que los Sistemas se han puesto en funcionamiento por la acción causal de los agentes exteriores, (*ratones, hombre, hermano*), el comportamiento de los mismos en los distintos Episodios se explica por una serie de candidatos causales dinámicos, que son los responsables de los cambios que experimentan los atributos de los materiales en cada uno de ellos. Además de la "fuerza suministrada", que no comentamos, destacamos los siguientes:

i) "Ley de la gravedad", "fuerza de la gravedad", [fT]

La "ley de la gravedad" o "fuerza de la gravedad", nombrada indistintamente así por CIC, es un candidato causal probable utilizado en las explicaciones del funcionamiento de los Sistemas A, B y C. La define como:

- "... una fuerza de la Tierra, que tiende a atraer a todos los cuerpos hacia ella, hacia la superficie" (A1[16iv](160))

La fuerza o ley de la gravedad "actúa por todas partes" (A0 y A1[17](170)), "hacia abajo" (A1[17i](170), A1[17iii](180)), "siempre" (C0(F)[22i](600)) y "en todo momento" (D1[11](720)), y tiene un valor "constante" (B'0[18](120), B2[20](350)).

Tiene las propiedades de una "fuerza", candidato causal prototípico: produce cambios en los atributos de los materiales de los Sistemas (Cfr., por ejemplo, A2[16iv](160)),

B2[9](270), C2[9](500), D2[10](700)) y actúa junto con otras "fuerzas" (Cfr., por ejemplo, A2[16iv](160), B1[11i](300), C0(F)[22i](600), D1[11](720)). Su efecto fundamental es hacer "caer" o "bajar" (Cfr., por ejemplo, A2[16i](140), B2[19i](330), C2[9](500), D2[10](700)).

El hecho de que CIC utilice indistintamente para referirse a este candidato causal el nombre de "fuerza" o de "ley", ya hace sospechar ciertas posibles ambigüedades en su comprensión. En efecto, se observa a lo largo de la entrevista un proceso de construcción de este candidato causal, en el que se van explicitando restricciones de tipo local y circunstancial cuando se trata de aplicar los términos de las definiciones dadas anteriormente, como veremos a continuación.

Funciones de fT

En los Episodios donde el Sistema está en reposo, fT no "actúa", (por ejemplo, A0[4](010), B0[1](230), C0[1](370)) ni siquiera en los casos en que CIC menciona este candidato causal explícitamente, ya que su función es "atraer hacia la superficie" (A2[16iv](170), B2[9i](270), impedir que los objetos salgan "volando" (A0[17](170)), "hacer que se mantengan en reposo" (B0[13](310), C0(F)[22](600)).

Es notar que CIC distingue en la "actuación" de fT dos situaciones de "reposo": cuando el material reposa sobre una superficie estable y cuando está quieto, pero suspendido. En el primer caso, utiliza un modelo causal donde fT aunque esté presente simplemente no "actúa". En el segundo fT está presente junto con otra "fuerza" opuesta, y el resultado es la "no actuación" de ambas. Estas situaciones se pueden representar como

$fT \rightarrow$ atraer hacia la superficie.

Condición: estar apoyado. Si desaparece la superficie de apoyo, fT empieza a actuar (A2[16i](140), A1[17iii](180), A2[17v](180));

fT
f \rightarrow no movimiento

Con la condición de que $f > fT$ (B0[6](270), B0[10](280)). En palabras de CIC:

- "Hay una fuerza de la Tierra, que tiende a atraer a todos los cuerpos hacia ella, hacia la superficie. Entonces, si tienes un bolígrafo, aquí hay una fuerza mayor, que es mi brazo, que lo está sujetando. Entonces, si lo sueltas, la Tierra lo atrae hacia la superficie y cae" (A2[16iv](160)).

En el primer caso, hacemos notar que la superficie de apoyo no tiene papel causal, no "reacciona" según el pensamiento de CIC (siempre es considerada como un CONDUCTO). En el segundo, CIC en un principio no se da cuenta de que con la condición de que $f > fT$ no es posible el reposo, sino que el material estaría moviéndose en la dirección de f .

Más adelante, CIC cae en la cuenta de la falta de correspondencia de este segundo modelo, reconstruyéndolo cuando se da cuenta de que es ese el modelo causal que necesita para explicar que la flecha salga disparada hacia arriba:

- "Todo cuerpo cuando está en estado de reposo no tiene ninguna fuerza, está ahí. Entonces tiene que haber una fuerza mayor que esta ley de la gravedad, que haga que suba hacia arriba" (B0[10i](280), B1[11](290)).

A partir de este momento sólo se utilizará para el reposo el primer modelo, asimilándose la "fuerza" opuesta al "apoyo", por lo que cuando el Sistema está "quieto" sólo actúa fT (Cfr. B0[13](310), donde el hombre sosteniendo la flecha -o la flecha y el arco-, ya se ha convertido en el "apoyo" pasivo, sin ejercer ninguna "fuerza mayor" para mantener el reposo).

Cuando el Sistema está en **movimiento**, fT sólo interviene en el Sistema A para hacer "caer" la bola. Su explicitación es muy tardía, después de haber explicitado un modelo causal para la caída en el que intervenía una "fuerza de caída", cuya naturaleza no tenía muy clara (Cfr. A2[15ii](110)) y que asimilaría a la "ley de la gravedad ésta" (A2[16i](140)), o "fuerza de la Tierra" (Cfr. A2[16iv](160)) o "fuerza de la gravedad", más adelante. Nunca explicita cómo en estos Episodios de caída interviene fT para mantener el movimiento (Cfr. A2[17v](180). En cambio en el Episodio A1, aunque está "actuando" (A1[17](170)) tampoco aparece como candidato causal que intervenga en el movimiento del material, ni influya, por tanto, en el valor de sus atributos, ya que

- "... esta fuerza es mayor. Y porque tiene un espacio aquí abajo hacia donde atraerle... Porque si quitamos de repente la repisa, se cae" (A1[17iii](180)).

En el Sistema B, se explicita su actuación en la caída (B2[9](270)) y más adelante en la subida (B1[11](290), B1[11i](300)), cuando es necesaria su *acción conjunta* con otro candidato causal mítico (la fuerza de subida, "suministrada" por el hombre a la flecha), para hacer que el modelo causal para este Episodio sea *coherente, correspondiente* (B1[14](310), B1[17](370)) y *robusto* (B'0[12](300), B'0[18](320), B'0[19ii](350)). Su función en B1 es explicar la disminución del movimiento en la subida, de manera que su acción hace disminuir la "fuerza suministrada", y en B'0, explicar la desaparición de ésta misma "fuerza suministrada", evitando el recurso a la Heurística Canónica. Aunque está claro que fT es el candidato causal responsable de hacer caer la flecha en el Episodio B2, no lo está tanto su

papel en explicar los cambios de atributo que experimenta el material mientras cae: Aunque CIC sabe que la velocidad aumenta (B2[11i](300)), no explicita cuál es el agente causal responsable de este aumento (Cfr. B2[4](230), B2[9](270), B2[16](320), B2[19](320)). Cuando ENT pregunta directamente por este candidato causal, CIC responde sin mucha convicción:

- "Pues esta ley sigue actuando igual que antes... Pero quizás..."

[Pausa]

Quizás, una superficie... es mayor que... cuanto más vaya subiendo... No...

[Pausa]

- Por la caída libre... ¡Oh! Intento establecerlo todo por las leyes que *han* dicho, y ya.. ¡ala!, la caída libre [Risas]" (B2[19i](330). Énfasis nuestro).

ENT sigue insistiendo:

- "Aquí *quizás*, en 3 [subida], le queda fuerza todavía. Entonces llega un momento en que se acaba... Entonces, si se acaba una fuerza, ésta fuerza [fT] aquí tendría una intensidad determinada, la ley de la gravedad tendrá una intensidad [un valor determinado]. Entonces, *quizás* cuando está actuando sobre un mismo cuerpo de una forma constante, quizás el movimiento es más rápido, la velocidad es mayor" (B'0[19ii](350) y B2[20](350). Énfasis nuestro).

En el Sistema C, parte C, la gravedad se explicita por primera vez en el Episodio C2[9](500), para explicar el cambio de sentido del movimiento del material en la bajada, haciendo referencia al Episodio C'0, en el cual estarían actuando una "fuerza" de subida, que se acabaría, y la fT. Esta fT atraería "hacia la tabla en que está sentado", pero como ésta tabla está suspendida, le hace caer.

Cuando se le cuestiona por el modelo causal del Episodio en un punto intermedio del recorrido, parece que CIC recurre a otro candidato causal, que "va aumentando" mientras baja y es responsable del aumento de velocidad que experimenta el material en la bajada y en C'1 (Cfr. C2[10](510), C2-C'0-C'1[11](520), C2-C'0-C'1[12](520)), hasta que "ésta fuerza otra vez se acaba" (C''0[13](550). Es claro que CIC está refiriéndose a otro candidato causal probable, que necesita para explicar la dinámica del Sistema, y que es distinto de fT, ya que ésta, por tener un valor constante, ni puede aumentar ni desaparecer.

CIC lo hace explícito más adelante: fT provoca la caída, y genera un "impulso" que mantiene el movimiento en los Episodios C2-C'0-C'1; en C''0 este impulso se acaba, actúa fT y comienza de nuevo el proceso (Cfr. C[21](560), C[21i](580)).

Esta explicación de los cambios de atributos que experimenta el material en los sucesivos Episodios de subidas y bajadas, puede suponer una concepción local, o una reconstrucción del modelo causal para la bajada explicitado en B2[20](350). Nos inclinamos por lo segundo, ya que a diferencia de entonces, aquí CIC se expresa espontáneamente, haciendo una síntesis con mucha seguridad.

Por último fT también intervienen en la "parada" del Sistema en su Episodio de reposo final, CO(F). Aquí, la función de fT es hacer que el material "tienda hacia abajo". En este caso, CIC hace intervenir otra "fuerza", un candidato causal de cuya naturaleza no está segura, pero necesario para salvar la correspondencia y coherencia del modelo causal construido, sin tener que recurrir a la Heurística Canónica, que es mayor que fT y que hace que el columpio se pare. La descripción de la función del candidato causal postulado coincide con la que tendría un rozamiento que frenara el movimiento que lleva el material, como veremos más tarde.

En el Sistema C, parte D, fT se introduce al final para explicar la bajada de Zipi, cuando CIC reconstruye este Episodio, incorporando al mismo el modelo causal similar al de caída en B2. Su función aquí, como allí, es provocar la "caída vertical":

- "Por eso... por la ley de la gravedad otra vez... Estoy recurriendo mucho a la ley de la gravedad, pero es que me parece que es... la más clara". (D2[10](700)).

Después de lo cual, incorpora lo aprendido aquí al Episodio D1, haciendo intervenir fT en la subida, cumpliendo la función de hacer disminuir la "fuerza" (mítica), de subida, y mostrando con esto que el modelo, además de coherente y correspondiente, es robusto (D1[11](720)).

En definitiva, las funciones de fT se van definiendo y completando, mediante reconstrucciones y explicitaciones sucesivas, a lo largo de toda la entrevista, en un proceso típico de aprendizaje, tal como lo concibe el modelo de de Kleer y Brown. En síntesis son las siguientes:

- Cuando el Sistema está en reposo, no tiene función causal propiamente dicha. Se limita a "atraer hacia la superficie haciendo que el material "permanezca en reposo", o, "no salga volando".
- Si el Sistema está en movimiento, pero el material está "apoyado", no juega ningún papel dinámico, porque hay "una fuerza mayor" que es la responsable de mantener los valores de los atributos del material.

- Si el Sistema está en movimiento, pero el material está "suelto", en los Sistemas B y C, parte D, interviene en los valores que adquiere el material en los Episodios de subidas y bajadas. En las subidas se compone con otra "fuerza" (mítica) y en las bajadas hace caer.
- Si el Sistema está en movimiento, pero el material está "sujeto", (el recorrido del material no es vertical, ni horizontal), fT hace "caer" y además genera un "impulso", que es responsable de los atributos del material en los distintos Episodios, excepto en los de transición C'0, C''0, que es donde interviene fT para "hacer caer".

En este último caso, destacamos la similitud de la función de fT con la que tendría un agente exterior que comunicara "fuerza suministrada" al material, en forma de "impulso", y ya éste "impulso" fuera el candidato causal probable que se responsabilizara de la acción causal en el Sistema.

Representación gráfica de fT

CIC no representa gráficamente fT. A instancias de ENT, representa la *dirección* en la que actúa, rotulándola con una G. La representa en el aire y hacia abajo (A1[17ii](170), C0(F)[22i](600)), y sobre las bolas (A1[17iii](170)).

Componentes

En ningún caso, ni referidas a este caso, ni a otros, CIC menciona la posibilidad de considerar componentes en los candidatos causales que intervienen en la explicación del comportamiento de los Sistemas. Esto le obliga a utilizar candidatos causales míticos para conservar la correspondencia y la coherencia de los modelos causales construidos para explicar algunos Episodios, como es el caso del Sistema C, parte C.

ii) El "impulso" o "fuerza de bajada"

El "impulso" es explicitado por CIC como una "fuerza" responsable de los movimientos de subida y bajada del material en algunos Episodios de los Sistemas. Lo conceptualiza como un candidato causal mítico dinámico prototípico: da cuenta de los cambios experimentados por los atributos del material en los Episodios en los que interviene, salvando los Principios causales y la correspondencia y coherencia de los modelos causales construidos.

Funciones del "impulso" o "fuerza de bajada"

La función fundamental de este candidato causal es explicar los cambios de atributo experimentados por el material en los Episodios de bajada. La velocidad en estos Episodios *aumenta*. Y CIC tiene que elegir entre explicar este *cambio de atributo* mediante la actuación de un candidato causal probable de *valor constante* (fT), o recurrir a postular la existencia de otro candidato causal *no constante* que dé cuenta del cambio de velocidad. Esta segunda opción es la elegida por CIC. En el fondo de esta elección parece estar la convicción de que *un efecto cambiante* (una velocidad cambiante) tiene que ser producido por *una causa cambiante*, en cuyo caso, fT, de valor constante deja de ser un candidato causal probable.

Origen del "impulso" o "fuerzas de bajada"

La primera vez que CIC explicita un modelo causal para explicar la caída es en el Episodio A2[15ii](110), y lo hace con reservas.

CIC acaba de decir que la "causa" de la caída sería distinta de la que hace que la bola se desplace por encima de la tarima. La entrevista prosigue:

ENT.- ¿Y cual sería, en la bajada?

CIC.- En la bajada...

[Pausa]

Es que nombres de fuerzas, de movimientos y esas cosas...

ENT.- Da igual lo de los nombres (...) Los nombres no me importan. Lo que me importa es entender lo que quieres decir.

CIC.- Claro. Lo que pasa es que es más difícil expresarte si no conoces los nombres de las fuerzas.

ENT.- Claro

CIC.- Pero bueno... pues sería una fuerza de caída.

ENT.- Tú crees que ahí hay una fuerza... que la vamos a llamar fuerza de caída.

CIC.- Sí... Aunque no sé si sería una fuerza en realidad" (A2[15ii](110)).

Más adelante, CIC dice que el movimiento de caída es cada vez "más rápido" (A2[16](130)). Y ENT le pide que explique el movimiento en progresión. La respuesta de CIC es ambigua: explica la caída, pero no la progresión del movimiento:

- "¿Movimiento en progresión, dices?... Pues yo la única que veo es que se acaba la repisa y la bola tiene que caer... por la ley de la gravedad ésta" (A2[16i](140)).

No vuelve a explicitar las características del atributo del material en una caída hasta B2[19](320). Como anteriormente, su explicación es sin demasiada convicción:

CIC.- "Pues esta ley sigue actuando igual que antes [referencia a A2]... pero quizás...

[Pausa]

Quizás, una superficie... es mayor que... cuanto más vaya subiendo... No...

[Pausa]

Por la caída libre... ¡Oh!... Intento establecerlo todo por las leyes que han dicho, y ya ¡ala! la caída libre [Risas]

ENT.- Ya... Vale... Vale... ¿Pero qué es eso de la...?

CIC.- Por la ley de la gravedad. Esa es la culpable de todo" (B2[19i](330)).

Posiblemente, el haber explicitado anteriormente, en B'0[18](320) que fT es constante sea lo que introduzca la inseguridad en la explicación de CIC.

En el Sistema C, parte C, se refiere a este candidato causal por primera vez cuando CIC explica cómo se mantiene el movimiento de bajada:

- "Yo creo que de 2 a 1, la fuerza... va aumentando" ... "y la velocidad también". (C2[10](510)).

Esta explicación supone que para mantener un cambio en el atributo del material, el candidato causal probable tiene que cambiar también. Es decir, se reconstruye el modelo causal para la bajada, explicitado en B2[20](300). A partir de este momento este candidato causal se va articulando cada vez con más precisión, hasta que el modelo causal para la bajada se hace *robusto*:

- "Esta fuerza que le ha hecho bajar de 2 a 1... es grande, ¿no? Entonces no le hace que se pare en 1, porque no hay ninguna causa que le hace parar... Entonces, continúa hacia arriba otra vez" (C2-C'0-C'1[11](520))
- "Es que el mismo impulso que le hace bajar, al no haber aquí una fuerza que le pare, pues entonces... Ehm... continúa hacia arriba. O sea, la fuerza de la gravedad actúa aquí, en el punto 2. Entonces va actuando, va actuando [el impulso] pero aquí no hay ninguna causa que le pare, y entonces, con este impulso llega un momento en que esta fuerza se para, y entonces otra vez de 4 a 3 esta fuerza [fT] vuelve a actuar... Y en 3 el impulso de esta fuerza hace que suba". (C[21i](580))
- "Siempre hay una fuerza que tiende hacia abajo, que debe ser esta ley de la gravedad... Es que debe haber otra fuerza por ahí, que no sé decirte el nombre [alusión al "impulso"]... No sé si es ésta la de la gravedad o son las otras [alusión al "impulso"]". (CO(F) [22i](660)).

De manera que parece claro, de las explicaciones de CIC, que el "impulso" o "fuerza de bajada" es un candidato causal probable, de naturaleza mítica, que mantiene el movimiento de subida y bajada en el Sistema, creciendo al bajar y disminuyendo al subir, cuyo origen es la actuación de fT en los Episodios de parada momentánea del Sistema, C'0 y C''0.

Este origen parece recordar el de la "fuerza suministrada": actuación de un agente real externo que comunica "impulso" a un material y que explica los valores de sus atributos dinámicos a partir de este momento.

En el Sistema D, este candidato causal no se explicita.

iii) La fuerza de parada

La "*fuerza de parada*", es un candidato causal dinámico, cuyo origen no se especifica, pero que se postula por la necesidad que tiene CIC de hacer que el modelo causal que explica el estado final de reposo del Sistema C, parte C, sea correspondiente sin recurrir a la Heurística Canónica:

ENT.- "Y por qué se pararía?"

[Pausa]

CIC.- Porque aquí hay una fuerza.

ENT.- ¿Dónde? Píntamela, píntamela.

CIC.- ¡Ah!... Negro... O sea, siempre hay una fuerza que tiende hacia abajo, que debe ser esta ley de la gravedad...[Dibuja]... Es que debe haber otra fuerza por ahí, que no sé... decirte el nombre... [alusión al "impulso"]. Entonces, hay una fuerza que siempre tiende... a que... las cosas que estén en movimiento paren... Y entonces haría que se parasen [se "terminasen" o dejaran de actuar], porque debe ser la mayor, la fuerza ésta.

ENT.- Vale... Pero entonces, esta no es la fuerza de la gravedad... ¿Es otra cosa?

CIC.- No lo sé.. No sé si es ésta la de la gravedad o son las otras ["impulsos"]

ENT.- Pero... tú piensas que hay otra cosa... que le hace pararse.

CIC.- Sí. Una fuerza mucho mayor" (CO(F)[21i](600)).

Adviértase la frase:

- "Hay una fuerza que tiende a que las cosas que estén en movimiento, paren."

Parece la expresión de un principio perteneciente a una *física ingenua*. Responde a un concepto de "rozamiento" elaborado espontáneamente. CIC no lo relaciona con los elementos estructurales del Sistema, sino que lo describe como un candidato causal *dinámico*. Una vez más se pone de manifiesto la tendencia de los sujetos a no utilizar candidatos causales probables estructurales.

Causalmente, CIC utiliza un modelo para la parada que es robusto: siempre hay una fuerza, mayor que la que provoca el movimiento, que le hace parar. Es el mismo modelo utilizado en A2[16iv](160) y A1[18iv](210) y posiblemente también en B0[6](270), B0[10](280).

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

CIC explicita pocos candidatos causales, además de los anteriormente descritos, y los menciona en pocas ocasiones. Son estos:

- El *aire*. Es un elemento del entorno del Sistema, que puede convertirse en un candidato causal probable, si fuera necesario (Cfr. A0[8](050)). También se menciona la "densidad" del aire como jugando un papel causal condicionante en la caída de la bola (Cfr. A2[16iii](150)).

- La "*fuerza*" de la tabla. Es un candidato causal probable, originado en un COMPONENTE estructural del entorno del Sistema: una tabla que se opone al movimiento de la bola y le hace pararse (A1[18iv](210)). Es necesario para conservar la correspondencia del Sistema, sin recurrir a la Heurística Canónica, ya que CIC no considera la repisa como un componente, sino como un CONDUCTO. Quizá esto sea una muestra más de resistencia a considerar candidatos causales estructurales en el Sistema: CIC prefiere utilizar otro elemento estructural del entorno.

Es notable que CIC afirme que para que la pelota se pare en este Episodio, la fuerza de la tabla tiene que ser mayor que la "fuerza" que lleva la pelota. Repite la estructura del modelo de equilibrio en suspensión, ya explicitado en A2[16iv](160).

RESULTADOS DEL ANALISIS DE FAC

FAC se expresa con soltura, aunque gana fluidez a medida que avanza la entrevista. Es un chico abierto, con sentido manifiesto del humor. En sus explicaciones utiliza profusamente términos aprendidos de los modelos escolares de la Física clásica, aunque muestra poca asimilación de los mismos. Podría decirse que estos conceptos científicos poco asimilados introducen "ruidos" en las explicaciones de FAC: se nota un esfuerzo por encajar los nuevos aprendizajes en su "viejo" modo de "ver" la realidad, con las consiguientes idas y venidas, construcciones y reconstrucciones de sus modelos explicativos. Todo ello, por salvar la coherencia de su pensamiento dentro de unas explicaciones causales a las que en ningún caso renuncia.

1. DIVISION EN EPISODIOS

El comportamiento de los distintos Sistemas representados en los Comics es descrito por FAC como constituido por los siguientes Episodios:

- **Sistema A:** A0, en el que la bola está quieta sobre la repisa, primero implícito (A0[1](010), A0[8](030)) y después explícito (A0[10](140)); A1, que primero se considera como un sólo Episodio, en el que la bola se mueve sobre la repisa con velocidad creciente (A1[5](010), A1[11](070)), y que más tarde se considera como constituido por los Episodios A1.1, en el que la bola se mueve con velocidad creciente (A1.1[26](260)), y A1.2, en el que la velocidad decrece hasta pararse (A1.2[27](260)); A2.1, en el que la bola se desplaza fuera de la tarima y en el que no actúa la "gravedad" (A2.1[6](010), A2.1[22](230)); A2.2, en el que la bola cae verticalmente y sí actúa la "gravedad" (A2.2[7](010), A2.2[22i](230)).

- **Sistema B:** B0, en el que la flecha está quieta, antes de ser lanzada al aire, primero implícito (B0[2](340), y después explícito B0[4](360)); B1, en el que la flecha es lanzada hacia arriba y su movimiento es "decelerado" (B1[3](350), B1[3i](350), B1[5](360)); B'0, en el que la flecha se queda quieta, después de subir (B'0[7](470)); B'0-B2, en el que la flecha traza una curva en el aire antes de empezar a bajar (B[G1](290), B'0-B2[9](490)); B2, en el que la flecha cae verticalmente con una velocidad creciente (B2[8](470), B2[10](500)).

- **Sistema C, parte C:** C0, donde el columpio está parado inicialmente, explícito (C0[1](570), C0[6](640)); C1, en el que el columpio se mueve hacia arriba en una primera

oscilación, (C1[5](620), C1[7](650)), en el que FAC distingue más adelante los Episodios C1.1, en el que el movimiento crece (C1.1[12](690)), y C1.2, en el que el movimiento decrece (C1.2[13](700)); C'0, en el "impulso" que le ha hecho subir, se gasta (C'0[14](700), C'0[14i](700)); C2, en el que el columpio baja, con un movimiento creciente (C2[15](700), C2[17](710)); C''0, en el que el columpio alcanza en su bajada el punto inicial con una velocidad máxima (C''0[17i](710)); C'1, en el que el columpio sube describiendo una trayectoria simétrica a C1, con un movimiento en disminución (C'1[17](710)), permaneciendo implícitos los Episodios simétricos C'1.1 y C'1.2; C'''0, cuyas características no describe (C[G2](750)); C'2, cuyas características tampoco describe (C[G2](750), C[17i](710), C[19i](720)); C0(F), donde el columpio, después de determinadas oscilaciones, vuelve a pararse en la posición inicial (C0(F)[18](710), C0(F)[19](720)).

- **Sistema C, parte D:** D0, en el que Zipi sale disparado, impulsado por la "energía cinética" del movimiento anterior (D0[1](800)); D1, en el que Zipi sube, después de salir disparado, impulsado por una "fuerza" mítica, hasta que su velocidad de subida se hace cero (D1[2](810)); D'0 en el que la velocidad de subida se hace cero (D'0[2i](820)) y comienza el descenso de Zipi; D2, constituido primero por los Episodios D2.1, caída curva, a partir del punto más alto de la trayectoria (D[G1i](790)); y D2.2, tramo perpendicular, a partir de un cierto punto de la trayectoria de caída (D[F1i](790)); que más adelante se reconstruirá como un sólo Episodio, D2, de caída vertical, a partir del punto más alto de la trayectoria de Zipi (D[G2](820)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

La utilización que FAC hace de los Principios Causales cuando explica el funcionamiento de los Sistemas en sus distintos Episodios, denota una concepción causal ontológica, mantenida sin excepción a lo largo de todas sus explicitaciones. En el Análisis hemos destacado algunas explicaciones que ilustran tipos de razonamiento que se apoyan preferentemente en uno u otros Principios.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

De un total de 68 ocasiones en que se han explicitado los modelos causales explicativos de los Episodios constituyentes de los diversos Sistemas, en 34 de ellas se ha destacado la utilización del Principio de Constancia por parte de FAC para su construcción. De éstas, 5 corresponden a la parte de la entrevista anterior al teachback. Cfr. A1[2](010), A2[3](010), A2.2[7](010); B1[3](3500), B'0[7](470), B2[8](470); C0[9](680), C1[8](660), C'1[22](770); D0[4](830), D1[3](820), D'0[6i](840), D2[7i](840), D[6ii](840), etc.

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

El Principio de Productividad es utilizado por FAC preferentemente en la construcción de 34 modelos causales explicativos de diferentes Episodios de los tres Sistemas A, B y C (A1[13](090), A2[18](170), A2.1[21](220), A1.2[27](260); D1[3](350), B'0-B2[9](490), B2[11](530); C1[5](620), C2[20i](740), C'1[21](760), C0(F)[18](710); D0[1](800), D1[2](810), D2[7](840), etc). De éstas 3 ocasiones son anteriores al comienzo del teachback (A1[5](010), B[G1i](340), C[2](570)).

Aunque tanto el Principio de Constancia como el de Productividad son los más utilizados por FAC espontáneamente, hay que tener en cuenta que son los más utilizados también en el teachback para poner de manifiesto las posibles ambigüedades de los modelos causales construidos. De ahí que su registro en el Análisis sea tan frecuente.

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

FAC enuncia diferentes tipos de *condiciones* que posibilitan que la acción causal se lleve a cabo en determinados Episodios. De ellas destacamos:

- *Condiciones estructurales*. Por ejemplo: que *no exista soporte* es condición para que actúe la fuerza de la gravedad en A1 (Cfr. A1[18](170), A[G5](180)); que la *tarima este inclinada* haría posible la actuación de algún candidato casual probable (A1[10](050)); que la flecha al subir presente alguna *superficie de cara al aire*, condiciona que actúe la fuerza de rozamiento (B1[G5](430)); las *cuerdas* condicionan la trayectoria del columpio (C1[5](620)); que Zipi *se suelte* del columpio condiciona el que pueda salir disparado (D[3](570), D0[4](830)).

- *Condiciones dinámico-estructurales*. Por ejemplo: que el peso de la flecha sea *mayor en la punta que en la parte de atrás* condiciona que la fuerza de la gravedad *actúe diferenciadamente*, de manera que ésta describa un arco en la parte superior de su trayectoria (B[G1i](310), B-0-B2[9](490)); que *no exista tarima* y que la fuerza de la gravedad sea *mayor* que la energía que lleva la bola, condiciona que esta caiga verticalmente (A2.2[22i](230)).

- *Condiciones dinámicas*. Por ejemplo: que la *energía cinética de rotación sea mayor que la Energía cinética de rozamiento* es condición para que la fuerza inicial aumente (A1[12](080)); que la *fuerza de la bola sea mayor que la fuerza de la gravedad* es condición para que la bola no empiece a caer (A2.1[22](230)); que el impulso de la flecha sea igual a la *fuerza de la gravedad más el rozamiento* es condición para que la flecha se quede parada (B'0[7](470)); que la *tensión sea igual a la gravedad* es condición para que el columpio se quede parado después de oscilar (C0(F)[9](720)); que la *velocidad aumente* es condición para que Zipi

salga disparado (D0[1](800)); que la *velocidad* con que Zipi sale disparado *sea cero*, es condición para que comience su movimiento de caída libre (D[3ii](830)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

En el Análisis hemos destacado la utilización de este Principio por parte de FAC en los Episodios A1.2[27](260), B'0[7](470), C'0[14](700), C'0[14i](700), D1[6](840). En todos ellos, para conseguir que el modelo causal explicitado sea correspondiente, preservando este Principio, ha sido necesario hacer desaparecer el candidato causal probable que producía un determinado "efecto" en el material del Sistema en el Episodio considerado. FAC lo logra haciendo uso de la Heurística Canónica, como veremos más adelante.

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

FAC preserva siempre el Principio de Asimetría en la construcción de sus modelos causales. En el Análisis lo hemos destacado sólo en ocasiones en las que su utilización es necesaria para evitar la confusión causa-efecto. Son los modelos explicativos a los Episodios A1[5](010), A1[10i](060), A1[11](070), A1[12](080), A1[G4i](160), A1[24i](250), C[19iii](780), C[21ii](770), D0[1](800), D0[1i](810), D1[5](830), D[6ii](840). En todos los casos, se trata de cadenas causales en las que se ha introducido un tiempo mítico, que permite la producción de un candidato causal mítico, necesario, a juicio de FAC, para mantener la correspondencia y la coherencia de los modelos causales explicativos del funcionamiento de los Sistemas en los Episodios.

3. LOCALIDAD

FAC hace un uso *local* de casi todos los candidatos causales probables, a los que recurre para construir los modelos causales explicativos de los distintos Episodios. Por ejemplo:

- la *gravedad*, aunque enunciada sin restricciones en relación a su actuación (Cfr. A1[G4i](160), A2[G6i](200)), de hecho ésta sólo se explicita cuando es necesaria para que el modelo sea correspondiente y coherente. Así, no se considera su actuación en los Episodios A0, B0 y D0 (Cfr. A0[1](010), A0[23](250), B0[4](360), D0[1](800), etc), ni en los Episodios A1.1 y A2.1 (Cfr. A2.1[22](230)).

- el *aire*, candidato causal probable del entorno de todos los Sistemas estudiados, sólo se considera como tal en el sistema B; y aun en éste, haciendo de él un uso local. Así, en B0 no actúa (B0[4](360)); pero sí en B1 y en B'0, donde produce una "fuerza de rozamiento", necesaria para mantener la correspondencia de los modelos causales explicitados

(B1[6i](420), B'0[7](470); de nuevo deja de actuar en B'0-B2 (Cfr. B'0-B2[9](490); pero actúa otra vez en la bajada, pero en esta ocasión no para producir rozamiento, sino una "fuerza del aire" que favorece la caída (B2[10](500), B2[G7](510)).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

De las 8 explicitaciones de modelos causales iniciales que FAC ofrece antes de comenzar el proceso de teachback, 6 de ellas presentan una estructura que pone en relación

1 causa - 1 efecto

(Cfr. A1[2](010), A2[3](010), A2.2[7](010), B[G1i](340), C[2](570), D[3](570)).

En 2 ocasiones presentan estructuras complejas, del tipo



(Cfr. A1[5](010), A2.1[6](010)).

Superposiciones

También en 2 ocasiones, referidas al Sistema C, FAC explicita modelos causales iniciales que presentan la estructura simple

1 causa - 1 efecto

para explicar toda la dinámica del Sistema (Cfr. C[2](570) y D[3](570)). Se trata de un modelo causal muy simplificado, resumen de numerosas superposiciones de otros modelos causales no explicitados, ya que como muestra más adelante, FAC conoce que el comportamiento causal del Sistema es mucho más complejo.

**ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL
TEACHBACK**

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

Durante el proceso de teachback, se ha explicitado la estructura del modelo causal utilizado por FAC en 60 ocasiones. De éstas, 25 presentan la estructura simple

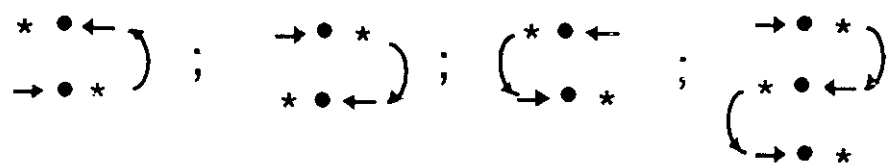
1 causa -> 1 efecto (Constancia)

1 efecto -> 1 causa (Productividad)

Se mantiene durante esta parte de la entrevista la tendencia a explicitar en primer lugar modelos causales simples para explicar el comportamiento de los Sistemas en sus distintos Episodios, siempre que estos modelos sean *correspondientes* en una primera aproximación. Cfr. a este respecto, A2[18](170), A2.1[22](230), A2.2[22i](230), B1[3](350), B1[3i](350), B1[6i](430), B2[8](470), C1[5](620), C[17i](710), D1[2](810), D1[3](820), D0[4](830), D2[7](840), D2[8i](850), etc.

Cadenas causales simples

En un total de 10 ocasiones los modelos causales utilizados por FAC presentan estructuras de cadenas causales simples, del tipo

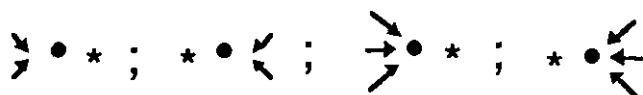


correspondientes a los Episodios: A1[13](090), A1[13i](100), A1[14](100), A1[17i](150); B2[11](530); C1[8](660), C2[20ii](760), D0[1](800), D0[1i](810), D2[8ii](850). En todos ellos se articulan candidatos causales reales y candidatos causales míticos, para guardar la correspondencia y la coherencia de los respectivos modelos causales explicativos de los Episodios.

Estructuras causales complejas

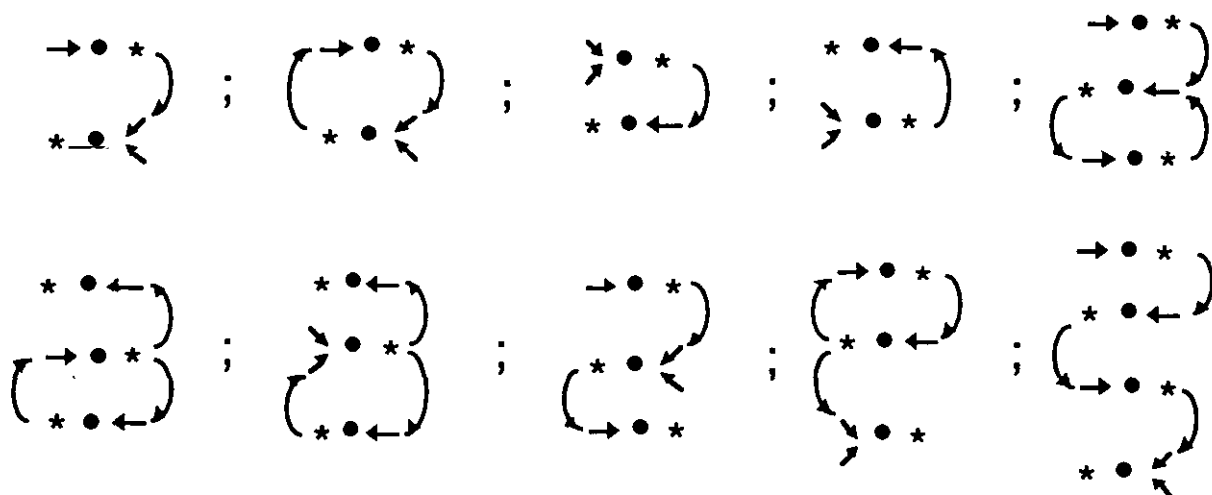
Varias causas, un efecto

FAC explicita la actuación de varios candidatos causales para explicar un efecto sobre el material de los sistemas en 12 ocasiones. Son estas las relativas a los Episodios B1[5](360), B1[6](420), B§[G5](430), B'0[7](470), B2[10](500); C1[7](650), C0[9](680), C'1[21](760), C'1[22](770), C2[15](700), C0(F)[19](720), D1[3i](830), de estructuras:



Cadenas causales complejas

En el Análisis se han explicitado modelos causales con estructura compleja, utilizados por FAC para explicar el comportamiento de los Sistemas, en un total de 15 ocasiones durante el proceso de teachback. Son estas A1[10i](060), A1[11](070), A1[12](080), A1[15](110), A1[G4i](160), A1[24i](250), A1.2[27](260), C0(F)[18](710), C[19iii](730) C2[20i](740), C[21ii](770), D[3ii](830), D1[5](830), D'0[6i](840), D[6ii](840). Las estructuras causales son del tipo



En todas ellas se utilizan candidatos causales reales y míticos.

La utilización de modelos causales tan complejos desde el punto de vista causal no implica necesariamente mayor bondad en las explicaciones ofrecidas. Lo que podría

demostrar es que FAC dispone comparativamente de gran cantidad de términos científicos, suministrados por los modelos de la Física escolar, que él asimila como "candidatos causales probables", y como tales los introduce en sus modelos explicativos, sin reparar en las matizaciones y diferenciaciones que para cada término determina la Física clásica.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

FAC recurre a la Convención Amplia y a la Heurística Canónica al explicar el funcionamiento de los Sistemas en algunos de sus Episodios, como veremos a continuación.

CONVENCION AMPLIA

En las *explicaciones espontáneas*, FAC utiliza la Convención Amplia en todos los Episodios, al menos en relación a la actuación de la gravedad, ya que él conoce que "actúa en todas partes" (A1[G4i](160)), y sin embargo no la menciona. Como dijimos anteriormente, en estas explicaciones primeras FAC tiende a simplificar los modelos causales explicativos de los Episodios, y por lo tanto no explicita sino los candidatos causales imprescindibles para que el modelo causal sea en primera aproximación correspondiente y coherente (Cfr. A0[1](010), A0[4](010), A1[2](010), A1[5](010), A2[3](010), A2.1[6](010), C[2](570), D[3](570)).

Durante el *teachback*, la Convención Amplia en relación a la actuación de la gravedad en el Sistema A, cuando el material está sobre la repisa, se mantiene hasta la explicación al Episodio A1[17](150), donde su explicitación es necesaria para explicar el giro de la bola. (Cfr. A0[8](030), A1[12i](090)). Aún en este caso no es la "gravedad" propiamente la que actúa, sino las "energías" que produce. Así, al explicar la caída de la bola especifica:

- "Bueno, porque ya no tiene el soporte este... que contrarresta la fuerza de la gravedad... Ya no está sobre la tarima, que era lo que contrarrestaba la gravedad". (A2[18](170)).

En este Sistema la Convención Amplia acerca de la "gravedad" se mantiene explícitamente en los Episodios A2.1 y A2.2. Por ejemplo:

- * FAC acaba de explicitar que la caída de la bola la provoca la "fuerza de la gravedad". Pero en la trayectoria descrita hay un tramo no perpendicular. El lo explica así:
 - "Bueno, la trayectoria que tiene... la influye la fuerza adquirida... en el movimiento anterior... Hasta que se pone perpendicular al suelo está actuando la energía que tenía". (A2.1[21](220))

Preguntado por qué sucede con esta "fuerza" cuando la trayectoria es perpendicular, responde:

- "Bueno, no sé. No es que se pierda... Lo que pasa es que ya la fuerza de la gravedad es más fuerte que la fuerza que trafa... O sea, ya no es capaz de contrarrestar la fuerza de la gravedad..." (Cfr. A2.1[22](230), A2.2[22i](230)).

* Del mismo modo no "actúa" en A1.1 porque también es contrarrestada por la "fuerza" inicial, comunicada por el ratón a la bola:

- "Lo que pasa es que transmite una fuerza el ratón... (...) Pero cuando termina de actuar esa fuerza [punto intermedio de la tabla], ya no puede contrarrestar la gravedad... O sea, el impulso inicial es más fuerte [que la gravedad] hasta el momento C... (...)". (Cfr. A1.1[26](260)).

En el Sistema B, FAC también utiliza la Convención Amplia que hace explícita en algunos Episodios. Por ejemplo:

* FAC acaba de decir que gravedad influye sobre todo el movimiento de la flecha en B1. ENT le pregunta por su actuación en B0. Su respuesta:

- "En A, cuando está cogida, no... En el momento que se dispara". (B0[4](360)).

* Y en relación a los candidatos causales que actúan en B1, afirma:

- "No sé. Yo creo que nada más... La gravedad y el arco [impulso], simplemente... ¡Hombre!, supongo que el aire, y eso no se cuenta". (B1[5](360)).

En relación al Sistema C, parte C, sólo destacamos aquí que el "rozamiento", que aparece en los otros Sistemas A y B, aquí no se considera en ningún caso, lo que conlleva que tenga que recurrir a candidatos causales míticos muy ambiguos para que realicen su función. (Cfr. por ejemplo, C[17i](710), C0(F)[18](710), C[19iii](730), etc). En la parte D, se mantiene la Convención Amplia en relación a la actuación de la gravedad en el Episodio D0 (D0[1](800), D0[1i](810), D0[4](830)) hasta el final de la entrevista (D[6ii](840)). En el Episodio D1 sólo se explicita su actuación cuando es necesario para explicar la disminución de velocidad en D1 (D1[3i](830)), manteniéndose anteriormente (Cfr. D1[2](810), D1[3](820)).

HEURISTICA CANONICA

La Heurística Canónica también es utilizada por FAC cuando no sabe cómo eliminar un atributo del material que debe "desaparecer" en determinadas ocasiones. En el Análisis se han señalado los Episodios A1.2[27](260), B'0-B2[9](490), C'0[14](700), C'0[14i](700), D1[6](840). En algunos de estos casos, FAC explicita esta convención. Por ejemplo:

* FAC está explicando cómo varía el impulso en los Episodios de subida del columpio, C1.1 y C1.2. Al referirse al Episodio C'0, en que el columpio debe pararse, comenta:

FAC- "Entonces, ya aquí no actúa el impulso,... En E ya el impulso no actúa... Sólo actúa la fuerza de la gravedad y la tensión de la cuerda [que se contrarrestan].

ENT- ¿Y qué ha pasado con el impulso ahí, ... ese que llevaba en E...?

FAC- O sea, el impulso ya... O sea, el impulso es el que ha provocado esa subida [ya que gravedad y tensión se contrarrestan], pero ya, cuando la ha provocado, se ha gastado todo el impulso, y entonces sólo queda la gravedad y la tensión"

(Cfr. C0[9](680), C0[9i](680), C'0[14](700), C'0[14i](700)).

* Al explicar los candidatos causales responsables del movimiento de subida de Zipi, después de salir disparado del columpio, FAC ha citado la energía cinética y la gravedad. Pero no ha mencionado el "impulso" que lo hizo salir de D0. ENT pregunta:

ENT- "¿Y qué ha pasado con el impulso que llevaba en D [D0], que le hizo salir?

FAC- Que se pierde con la... Que se va perdiendo hasta llegar a H" [punto de altura máxima].

(Cfr. D1[6](840)).

En este último caso, FAC llega a articular un modelo en el que explicita un mecanismo para que el "impulso" se "pierda" (Cfr. D'0[6i](840)). Pero no en los otros casos aludidos.

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

El *candidato causal prototípico* es para FAC una "fuerza". Sin "fuerzas" los Sistemas "no se moverían" (Cfr. A1[G4i](160), B1[5iii](390)). Incluso atribuyéndole distintos nombres, los candidatos causales probables podrían reducirse explícitamente a "fuerzas" (Cfr. A1[9ii](050)).

La *concepción prototípica de efecto* es fácilmente deducible de las explicaciones de FAC: un cambio perceptible en la dinámica del Sistema. De ahí que la gravedad "no actúe" en el Episodio B0, porque "está cogida" [quieta] (B0[4](360)), ni se explicita en ningún momento en A0 (Cfr. A0[1](010), A0[4](010), A0[8](030), etc); y en general, los candidatos causales no se explicitan cuando no "influyen" perceptiblemente en la dinámica del Sistema (por ejemplo, el "rozamiento" del aire cuando los materiales están apoyados o suspendidos).

Estas concepciones prototípicas no agotan el concepto de FAC acerca de lo que es una "causa" y un "efecto". Pero sí parecen influir en la elección de los candidatos causales "más probables" para explicar el comportamiento de los Sistemas: se observa una tendencia a

recurrir con preferencia a los candidatos causales dinámicos, sobre el recurso a candidatos causales estructurales.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontaneas

Candidatos causales dinámicos

En sus explicaciones espontáneas, los candidatos causales dinámicos utilizados por FAC son las "fuerzas" o "impulsos" que aplican sobre los materiales de los Sistemas los agentes causales externos, *ratones, hombre y hermano*, que provocan el que comience el movimiento de los mismos (Cfr. A1[2](010), B[1](290), C[2](570), D[3](570)). Una vez comenzado el movimiento, éste se mantiene por la "acción" de otros candidatos causales, con características de "fuerzas suministradas" originadas en las primeras (Cfr. A1[5](010), A2.1[6](010)). Para el Episodio de caída en el Sistema A, se explicita la "fuerza de la gravedad" como el candidato causal probable que provoca el movimiento (Cfr. A2[3](010), A2.2[7](010)).

Candidatos causales estructurales

Aunque FAC explicita espontáneamente elementos estructurales de los Sistemas A y C, partes C y D : *tarima* (A1[2](010)), *escoba* (A1[5](010)), *columpio* (C0[1](570)), *cuerdas* (C[G2](600)), *soltarse* (D[3](570)), en ningún caso los considera como candidatos causales probables. Es decir, son citados siempre como CONDUCTOS, que únicamente soportan o condicionan el camino de la acción causal.

De manera que en relación a los modelos causales iniciales, FAC utiliza exclusivamente candidatos causales dinámicos, reales o míticos. Los posibles candidatos causales estructurales que FAC describe, son considerados siempre como CONDUCTOS. La acción de la gravedad sólo se explicita en los Episodios de bajada del Sistema A.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

FAC ofrece un total de 114 explicaciones a los distintos Episodios durante el proceso de teachback. En 25 de ellas cita expresamente elementos estructurales: la *escoba* (A1[9](040), A1[9ii](050)); la *inclinación* de la repisa (A1[10](050)); al *final de la repisa* (A1[15](110), A2[18](170), A1[G5](180), A2.2[22i](250)); el *arco* (B1[3](350),

B1[5](360)); *mano y escopeta* (B1[6](380)); el *columpio* (C0[1](570)); las *cuerdas* (C[G2](600)); *soltarse* (D[3](570), D0[4](830)); la *superficie de contacto* (repisa) (A1[12](180), A1[15i](130), A1[G2i](130)); la *cuerda* (C1[5i](630), C1[6i](630), C'0[14](700), C2[15](700), C[17i](710), C0(F)[18](710), C'1[22](770)). En las 16 primeras, se refiere a ellas como CONDUCTOS, es decir, como elementos estructurales que no tienen un papel causal en el Sistema, sino que sólo *posibilitan* o *condicionan* el curso de la censura. En las 9 restantes los considera como COMPONENTES, es decir como constituyentes del Sistema que ejercen acciones sobre los materiales del mismo, de manera que afectan a los atributos de estos. Son éstos la *repisa*, que produce "rozamientos" en el Episodio A0 y A1 del Sistema A; y las *cuerdas*, que produce "tensiones" en el Sistema C, parte C.

i) El "rozamiento"

El *rozamiento* es un candidato causal probable de naturaleza estructural, que se origina en la "superficie de rozamiento" o de "contacto" entre la bola y la repisa (A1[12](080), A1[15i](130), A1[G2i](130) del Sistema A.

Funciones del "rozamiento"

Parece que FAC sabe que el "rozamiento" está presente a lo largo de toda la repisa, pero que realiza sobre este candidato causal la Convención Amplia, por considerar que "no hay casi superficie de rozamiento". Así se deduce de sus explicaciones la primera vez que lo explicita como candidato causal probable:

- "La aceleración que le transmite la rotación esa cada vez es más grande... Además, como la fuerza de rozamiento es muy poca, ¿no?, como gira, no hay casi superficie de rozamiento... Entonces... la fuerza de aceleración, o sea, la energía de rotación... es mucho más fuerte, mucho más grande que la de rozamiento, por lo cual le hace que aumente cada vez más, en vez de, a lo mejor disminuir,... que podría ser también" (A1[12](080)).

En este momento la Convención Amplia es necesaria para salvar la correspondencia y la coherencia del modelo causal, ya que para FAC la bola se mueve por la repisa con una fuerza creciente y una aceleración creciente. Es decir, en un primer momento, aunque sabe que el rozamiento está ahí, FAC *no considera que tenga ninguna función causal*, y la repisa es conceptualizada como un CONDUCTO dentro de la topología del Sistema.

Pero más adelante FAC comienza a dudar de la correspondencia de un modelo causal en el que la "fuerza inicial" o "fuerza del ratón" vaya en aumento, con lo cual, retira la Convención Amplia, y para conseguir la correspondencia del modelo causal le asigna la función de "gastar" la "fuerza del ratón" (Cfr. A1[15](110)). Pero sigue manteniendo un

modelo causal en el que el movimiento crece a lo largo de la repisa (Cfr. A1[G4i](160)). Para conseguir lo cual, ha hecho intervenir como candidato causal probable, a la fuerza de la gravedad. (A1[17](150)). Es decir, en un segundo momento, FAC asigna al "rozamiento" la *función de "gastar" la "fuerza del ratón"*. Para ello considera la repisa como un COMPONENTE dentro de la topología del Sistema. Coherente con este planteamiento, en este momento también FAC asigna una función a este candidato causal cuando el material está en reposo, es decir, en A0: mantener quieta la bola (Cfr. A1[G2i](130) y A0[16](140)).

Por último, FAC también se da cuenta de que este modelo causal tampoco es correspondiente (Cfr. A1[25](260)). Con lo cual lo reconstruye, considerando dos Episodios en la repisa: El A1.1, en el que el movimiento aumenta; y el A1.2, en el que el movimiento disminuye hasta pararse. Para conseguir la correspondencia y coherencia de los dos modelos causales explicativos de estos dos Episodios se ve obligado a utilizar de nuevo la Convención Amplia en el primero (Cfr. A1.1[26](260)); mientras que en el segundo asigna al "rozamiento" la función de "gastar" la "energía" que comunica al material la fuerza de la gravedad (Cfr. A1.2[27](260)). De manera que ahora la primera parte de la repisa se considera un CONDUCTO y la segunda un COMPONENTE.

Representación gráfica

La representación gráfica del "rozamiento" la realiza FAC con una flecha deslocalizada, paralela al movimiento y en dirección contraria al mismo, rotulada con F_r y notación de vector, como se hace comunmente en los manuales de Física. Más adelante señala como su "lugar" de actuación unos trazos en los puntos en los que las bolas representadas en el dibujo se apoyan en la repisa. No parece, sin embargo, que FAC tenga asimilado el concepto de vector referido al rozamiento.

ii) La "tensión"

La *tensión* es un candidato causal probable, de naturaleza estructural, que se origina en la acción de la cuerda en el Sistema C, parte C (C1[5i](630), C1[6i](640), C1[7](650)).

Funciones de la "tensión"

La primera vez que cita la *cuerda* en este Sistema, FAC la considera como un *condicionante* de la acción causal que tiene lugar en el Sistema; su existencia obliga a que el desplazamiento del columpio sea "curvo" (Cfr. C1[5](620)). La cuerda es por tanto, un CONDUCTO.

Pero en seguida se da cuenta de que, para explicar esa trayectoria conservando la correspondencia del modelo causal, hace falta un candidato causal, y recurre a "una fuerza... que es la tensión de la cuerda" (C1[5i](630)). Esta "tensión" tiene entonces la función de hacer que el columpio "se quede parado" (C0[6](640)) y de que "su movimiento sea de rotación" (C1[6i](640)). Al representar gráficamente la actuación de la "tensión" (con una flecha sobre las cuerdas apuntando al eje del columpio), parece darse cuenta de que su modelo para el Episodio C0 no es *correspondiente* (si sólo actuase en este Episodio la tensión, el columpio subiría verticalmente). Entonces, en la siguiente explicitación del modelo causal, que explica el comportamiento del Sistema en el Episodio C1, introduce la "fuerza de la gravedad". De esta manera el modelo es *correspondiente y coherente* (C1[7](650)) y también *robusto* (C0[9](680), C0[9i](680), C0(F)[19](720)). De manera que la *función de la tensión* es ahora la de *mantenerla trayectoria* del columpio y la de *"contrarrestar la fuerza de la gravedad"*, cuando el columpio está quieto. La *cuerda* se considea ahora como un COMPONENTE, dentro de la topología del Sistema.

Por último, FAC explicita que el columpio *se para* después de realizar un número de oscilaciones. Necesita reconstruir su modelo causal de manera que se conserve en él la *correspondencia* y la *coherencia*. Para ello necesita introducir en él un candidato causal probable que *explique la disminución del movimiento*, hasta que llegue a pararse. Y considera el más probable la *tensión* (C[17i](710), C0(F)[18](710), C[19iii](730)). Aunque, en alguna ocasión, y gracias a la utilización que FAC hace del Principio de Asimetría, también la "tensión" puede contribuir a que el movimiento en el Sistema *aumente* (Cfr. C2[20i](750)).

En definitiva, FAC asigna a la "tensión" las funciones de una "fuerza" que combinadas con otras "fuerzas" *mantiene la trayectoria* del material del Sistema; *contrarresta a la gravedad* cuando éste está en reposo; y *frena* el movimiento cuando el Sistema está moviéndose.

Adviértase que esta última función es la típica de una "fuerza de rozamiento". Pero FAC no considera en este Sistema el "rozamiento" como un candidato causal probable.

Candidatos causales dinámicos

Una vez puestos los Sistemas en marcha por la acción de los agentes causales externos (*ratón, hombre, hermano*), el comportamiento de los mismos en los distintos Episodios es explicado durante el proceso de teachback como también debido a la acción de una serie de candidatos causales dinámicos. Además de los que podrían caracterizarse como

"fuerzas suministradas", generadas en los primeros, y que no comentamos, FAC explicita los siguientes:

i) La "gravedad"

La "gravedad", denominada también "aceleración de la gravedad", "fuerza de la gravedad", "g" y "deceleración de la gravedad", es un candidato causal probable de naturaleza dinámica al que FAC recurre para explicar distintos Episodios de los Sistemas A, B y C.

La "gravedad" actúa "en todas partes" (A1[G4i](160), A2[G6i](200)), es "perpendicular al suelo siempre" (B'0-B2[9](490)) y tiene un valor "constante" (B2[G7i](520), B2[11](530), C2[20](740), D2[8ii](850)). Se origina

- "De...la atracción entre masas... La teoría esa... Una masa grande atrae a una pequeña siempre...
(...) La Tierra siempre actúa sobre las cosas que tiene por encima" (C1[3i](660)).

Funciones de la gravedad

Sin embargo, a pesar de las afirmaciones anteriores, al utilizar la "gravedad" como candidato causal, FAC impondrá restricciones de tipo local, que limitará el alcance de las mismas. Así, en el Episodio A0, no se menciona su actuación en ningún momento (Cfr. A0[1](010), A0[4](010), manteniéndose la Convención Amplia en relación a su actuación hasta el final de su comentario al Sistema (Cfr. A0[23](230), A1.1[26](260)). En los Episodios A1.1 y A2.1 tampoco "actúa", por verse "contrarrestada" por la "fuerza inicial" (A1.1[26](260), A2.1[22](230)). Tampoco actúa en el Episodio B0, explicitándose la Convención Amplia a este respecto (Cfr. B0[4](360)). Y tampoco se explicita su actuación en el Episodio D0 (Cfr. D0[1](800), D0[1i](810), D0[4](830)).

En los Episodios en que la "gravedad" actúa, sus funciones se van explicitando con más precisión, a medida que avanza el proceso de teachback, de manera que podría constituir un típico ejemplo de "aprendizaje", en el sentido que este término tiene en el modelo de Kleer y Brown, como se muestra a continuación

En el *Sistema A*, la primera función que se le atribuye espontáneamente es la de *hacer caer*, en el Episodio A2 (A2[3](010), A2.2[7](010)). Más adelante, la "gravedad" es la responsable del giro de la bola en A1, comunicándole a ésta "energía de rotación" (A1[17](150), [17u](150), [G4i](160)). De esta manera se hace coherente la afirmación de FAC de que la velocidad de la bola aumenta a lo largo de A1 (A1[5](010), y se explica el aumento de la "fuerza" que impulsa a la bola que ello implica (A1[10i](060), [11](070), [13](090), etc.). Más tarde FAC caerá en la cuenta de que este modelo no es

correspondiente, pues la bola llega a pararse (A1[25](260)). Entonces se verá obligado, para conservar la coherencia de su modelo mental, a considerar un *primer Episodio* en el movimiento horizontal de la bola, en el que la fuerza de la gravedad *no realiza ninguna función* (A1.2[26](260)), y un *segundo Episodio*, en el que la gravedad sí *actúa*, pero la "energía" que comunica a la bola "se va gastando" por la acción del "rozamiento" (A1.2[27](260)).

Hay que tener en cuenta que en el comentario de FAC al funcionamiento de este Sistema, la "energía" tiene las características de una "fuerza", es decir, de un candidato causal prototípico: modifica los valores de los atributos del material comunicándole más "fuerza" (A1[5](010), A1[6ii](060), A1[11](070), A1[12](070), A1[24i](250)), y se compone con otras "fuerzas" (A1[12](070), A1[24i](250), A1.2[27](260)) que también actúan sobre el mismo. Esta aclaración es importante, porque permite ver la coherencia del pensamiento de FAC cuando explicita la función de la "gravedad" en los otros dos Sistemas, B y C.

En el *Sistema B*, la "gravedad" se explicita espontáneamente como una "fuerza" (*fuerza de la gravedad*), que hace que la trayectoria de la flecha se tuerza al alcanzar su punto más alto (B[G1i](310)). Esta "fuerza" (*deceleración de la gravedad*: B1[3i](350)) se compondrá con otras "fuerzas" (el "impulso inicial" B1[6](420)) y la "fuerza de rozamiento" (B1[6i](430)), para explicar el movimiento de subida en el Episodio B1, y que la flecha se pare en el Episodio B'0 (B'0[7](470)). En el Episodio B'0-B2, será la "fuerza de la gravedad" la única responsable de que la flecha dé la vuelta (B'0-B2[9](490)). En el Episodio de bajada B2, FAC explicita que el movimiento se realiza con una "aceleración constante" y una velocidad que "aumenta". Este aumento de velocidad preocupa a FAC, ya que parece mantener la convicción de que *una causa constante tiene que producir un efecto constante*. Como "g" ([G6](490), [G7](510)) es constante ([G7i](520)), para conservar la coherencia de su modelo causal, FAC necesita una "fuerza" que aumente, para explicar el aumento de velocidad. Entonces explica:

FAC.-"Bueno, la g no es más grande, sino la fuerza que transmite... La g es igual siempre... Lo que pasa es que la fuerza que da, por la variación de la masa... es más grande.

ENT.-Aha... Vale... Y en H [punto más bajo de la trayectoria], ¿qué pasaría con la g esa, y con...?

FAC.-¿Cuando ya está clavada?... ¿Cuando ya está en el suelo?

ENT.-Si... En este movimiento hemos analizado cómo son las velocidades... Ahora te pregunto: ¿cómo son,... cómo es la gravedad en cada punto...?

FAC.-Igual.

ENT.-En F, en G y en H.

FAC.-Es igual, ¿no?

ENT.-No sé... Te estoy preguntando...

FAC.-La gravedad es igual. Lo que pasa es que la aceleración... La velocidad aumenta más cada vez, y la fuerza todavía más... Pero la g es constante.

FAC.-O sea, la fuerza aumenta... la fuerza de...

ENT.-Sí, la fuerza que lleva la flecha aumenta de F a H

(B2[G7i](520) y [11](530))

Es decir, en el Episodio de bajada de la flecha, la "gravedad es una "aceleración" constante que tiene la función de producir una "fuerza" que aumenta en la bajada, y que a su vez produce una velocidad que también aumenta. Como veremos más adelante, no es la primera vez que FAC utiliza este argumento, sino que aquí incorpora lo "aprendido" en A1[14i](110), donde también la "fuerza" aumenta porque aumenta la "aceleración" que la produce.

En el *Sistema C*, *parte C* se mantiene ésta función de la "gravedad" desde el primer momento. Por ejemplo: FAC acaba de explicitar que en el Episodio C1 de subida del columpio, actúa la "gravedad". La entrevistadora prosigue el teachback:

ENT.-La gravedad... la gravedad... ¿Qué es eso de la gravedad?... Hemos hablado antes también de la gravedad. ¿Cómo...?

FAC.-O sea, la gravedad no es una fuerza, es una aceleración.

ENT.-... Es una aceleración.

FAC.-Lo que pasa es que esa aceleración provoca fuerza... siempre.

ENT.-¿La aceleración provoca fuerza?

FAC.-Sí... Bueno, en este caso es deceleración, porque pierde... velocidad en sí".

(C1[8](660)).

Pero se da cuenta de que si la "gravedad" es constante (C2[20](740)), tampoco podría producir una "fuerza" que aumentase, necesaria a su vez para explicar que la velocidad aumente en Episodios de bajada del columpio. En este caso, no es " g " la que actúa, sino que el "vector g " al cambiar constantemente de posición, es el que produce una aceleración, que produce, a su vez, la fuerza responsable del movimiento de bajada (Cfr.C2[20i](750)). Ahora esta aceleración puede crecer (C2[20ii](760)), de manera que se mantiene correspondiente y coherente el modelo causal de FAC.

En el *Sistema C*, *parte D*, la función de la " g " en D1 es análoga a la ejercida por la "fuerza de la gravedad" en B1, es decir, gastar la "Energía cinética", o "impulso" que posee Zipi al ser lanzado por el aire (Cfr. D1[5](830) y [6](840)); y hacer caer (D[6ii](840)), una vez que se ha alcanzado el punto máximo de la trayectoria. Pero en la caída, de nuevo se especifica:

FAC.-"La g es una aceleración, lo que pasa es que esa aceleración se traduce en fuerza.

ENT.- Y la g entonces... o la g que se traduce en fuerza (quiero usar tus mismas palabras),... esa g que se traduce en fuerza, ¿crece, decrece...?

FAC.-No, la g es constante. Lo que crece es la fuerza. Porque la aceleración, al ser constante, provoca un aumento de... velocidad"

(Cfr. D2[8i](850) y [8ii](850)).

En definitiva, la "gravedad", asimilada por FAC como una "aceleración", tiene la función de producir "fuerzas" en los materiales de los Sistemas, que a su vez explican las cualidades del movimiento de los mismos. Pero esta "aceleración" tiene las propiedades de un candidato causal prototípico, aunque mítico, ya que no se corresponde con lo que en la Física clásica se considera como aceleración. Las razones de ello las expondremos más adelante.

Representación gráfica

Al representar la *actuación* de la "gravedad" sobre los materiales de los Sistemas, FAC tiende a considerar partes en los mismos (a diferencia de cómo lo haría un manual de Física básica, de manera que la actuación es diferenciada en el cuerpo. Así distingue su actuación en las partes derecha e izquierda de la bola (Cfr. A1[G4](150)) y en la parte inferior de la misma (Cfr. A2[G6](200)); y en relación a la flecha, distingue entre su actuación en la punta y en la cola de la misma (Cfr. B'0-B2[G6](490), B2[G7](510)). En el Sistema C no representa los materiales como cuerpos extensos, por lo cual no tenemos datos de cuál sería su primera tendencia al representar su actuación.

En cuanto a la representación gráfica de la "gravedad", en todos los Sistemas la representa con una flecha hacia abajo, indicando perpendicularidad al suelo (Cfr., además de los Episodios antes señalados, C1[G3](670), C1[G3i](670), C1[9i](680), D1[3i](830)).

ii) la "aceleración"

Como hemos visto anteriormente la "aceleración" es un candidato causal mítico, de naturaleza dinámica, al que FAC recurre para mantener la coherencia y correspondencia de sus modelos mentales explicativos del funcionamiento de los Sistemas en algunos de sus Episodios.

Este candidato causal aparece ya en las explicaciones espontáneas de FAC, al explicar el Episodio A2.1 (Cfr. A2.1[6](010)). En realidad, en el Sistema A aparece siempre como "aceleración", o "fuerza de aceleración", antes de explicitar que la "gravedad" es una "aceleración" (Cfr. A1[12](080), A1[13i](100), A1[14](100), A1[14i](110), A1[15](110)). De manera que nos inclinamos a pensar que ésta consideración particular de FAC acerca de

la "aceleración" como candidato causal probable, ya estaba elaborada espontáneamente antes de que tuviera lugar la entrevista. Sus expresiones dejan poco lugar a dudas. Por ejemplo:

- * FAC acaba de afirmar, refiriéndose al movimiento de la bola en la repisa, que la "energía de rotación" que lleva aumenta, debido a la "fuerza del ratón". ENT pregunta por las características de esta "fuerza del ratón" en un punto del recorrido. FAC contesta del modo siguiente:

FAC.-No sé... Yo creo que sí... No sé si toda la fuerza será de rotación, o quedará algo. Pero vamos, si ha aumentado, tiene... No, porque también le transmite un aumento... Simplemente con rotar ya cada vez aumenta más.

ENT.-Y al rotar aumenta, ¿que? ¿la fuerza?

FAC.-La aceleración. O sea... la aceleración. Como la aceleración es fuerza...

ENT.-¿La aceleración es fuerza?

FAC.-Fuerza es igual a masa por aceleración, con lo cual si aumenta la aceleración, aumenta la fuerza.

ENT.-O sea, que... la aceleración... Aquí me he perdido un poco. Tú dices: la aceleración causa la fuerza.

FAC.-Sí. La aceleración da fuerza. O sea, cuanto más acelerado, más fuerza lleva el cuerpo.

ENT.-Aha...

FAC.-Claro.

ENT.-Es decir, la aceleración causa la fuerza.

FAC.-Sí".

(Cfr. A1[14](100), A1[14i](110)).

Más adelante, FAC lo único que hace es aplicar esta concepción al caso de la "aceleración de la gravedad" (Cfr. A1[17i](150)), que ya explicará los diversos aumentos de "fuerzas" en los Episodios donde la correspondencia y coherencia del modelo causal explicativo, tal como lo ve FAC, lo hagan necesario. (Cfr. las explicitaciones acotadas anteriormente en relación a la "gravedad": B2[G7i](520), B2[11](530), C1[8](660), D2[8i](850), D2[8ii](850)).

Parece claro que FAC ha transformado la relación causal

$$f = m \cdot a$$

que conoce por los modelos científicos escolares, en

$$a = \frac{f}{m}$$

atribuyendo a ésta última la autentica relación causal, como vimos explicitado en el análisis del Episodios B2[G7i](520).

La interpretación de una dependencia funcional como relación causal también aparece en relación a otros conceptos que FAC ha recibido de los modelos científicos escolares, y que no ha asimilado según el modelo "oficial" propuesto. Por ejemplo: refiriéndose al "impulso" especifica que es:

- "... una fuerza... Impulso es igual a fuerza por tiempo" (B1[G5](430))

- "... la fuerza del chico... fuerza por el tiempo que dura". (C1[7](650))

Claramente está interpretando la relación funcional

$$I = f \cdot t$$

a manera de identidad causal, en la que el tiempo no juega ningún papel.

iii) La "fuerza de rozamiento" o "fuerza del aire"

La "fuerza de rozamiento" o "fuerza del aire" es un candidato casual probable que se origina en un elemento del entorno del Sistema, el *aire*.

El *aire* es un elemento del entorno de los Sistemas A, B y C. Pero FAC sólo lo considera actuando en el Sistema B, (Localidad) para lo cual ha tenido que ampliar la topología del mismo. Su actuación como COMPONENTE del Sistema era necesaria para explicar determinados efectos que se daban en algunos Episodios (Productividad), en los que FAC juzga que el aire juega un papel causal positivo determinante.

Naturaleza de la "fuerza de rozamiento" o "fuerza del aire"

FAC utiliza estos dos nombres para referirse a la acción del aire en el Sistema. Pero el aire no es un elemento pasivo del entorno, con el que la flecha "roza" en su desplazamiento, sino algo que al moverse en una determinada dirección, ejerce su acción casual sobre el material, influyendo en sus atributos dinámicos. No se trata, pues de "rozamiento" del estilo del que hemos descrito anteriormente (Cfr., por ejemplo, B1[G5](430), B2[G7](510)).

Funciones

La primera vez que FAC menciona el aire lo considera un elemento del entorno, acerca del cual realiza la convención de que no "actúa" en el Sistema. Al pedirle que enumere todos los elementos causales que explican la subida de la flecha, responde:

- "No sé. Yo creo que nada más... La gravedad y el arco [impulso], simplemente... ¡Hombre! Supongo que el aire, y eso no se cuenta" (B1[5](360)).

Si *actuara* podría influir:

- "Según la trayectoria del aire, y todo eso... Estaría así la flecha... tendría más desviación, menos... subiría más aprisa, menos..." (B1[5i](370)).

FAC no introduce el aire como COMPONENTE del Sistema hasta después de explicitar que el "impulso" que lleva la flecha en su desplazamiento hacia arriba disminuye (B1[6](420)). En este Episodio no le basta la acción de la fuerza de la gravedad para explicar esta disminución, y añade espontáneamente:

- "Y la fuerza de rozamiento... Lo que te he dicho antes del factor aire, pero que no... Es muy complicado eso... El aire actúa, pero... El movimiento se puede variar según la actuación del aire".

En este caso, FAC especifica la función de este factor:

- "... Pues igual, ayudando a la gravedad, así, para abajo,... más pequeñita (B1[G5](430)).

Es decir, en el Episodio B1, la "fuerza de rozamiento" se describe como una "fuerza" que se suma a la "fuerza de la gravedad", y que tiene la función de *hacer que el "impulso" que lleva la flecha disminuya*.

El modelo causal explicitado para B1 se muestra robusto en el Episodio B'0, donde ya la flecha *se queda "quieta"*, por la acción de los mismos agentes causales que actuaban allí:

- "El impulso se igual a la fuerza de la gravedad y al rozamiento... y entonces, en ese momento, se queda quieta" (B'0[7](430)).

En el Episodio B2, en un primer momento FAC hace explícita la convención de que no existe:

- "Y luego, ya la fuerza de rozamiento no actúa. Bueno, actúa dándole más impulso... No, no actúa, porque ya no existe rozamiento... Al ir a favor del aire, ya no existe rozamiento... Y entonces la flecha... Sólo actuaría la fuerza de la gravedad entonces, que va dándole una aceleración... una aceleración constante". (...) [La velocidad] "aumenta" en la bajada (B2[8](470)).

Pero la explicitación anterior de que la velocidad aumenta en la bajada de la flecha, parece no dejar tranquilo a FAC, de manera que cuando posteriormente, siguiendo el proceso de teachback, ENT repite su modelo causal para la bajada, FAC reacciona de la manera siguiente:

ENT.-Ahora va bajando, ¿eh?... Y me has dicho que en G [punto intermedio de la trayectoria de bajada] ya no actúa el rozamiento, porque el aire iba a su favor, y actúa sólo la gravedad.

FAC.-Bueno, actúa la fuerza del aire, que le impulsa para abajo.

ENT.-Aha... O sea, que se sumaría...

FAC.-Ahora el aire.

ENT.-... ésta a su favor... Aha... No le llamas rozamiento, sino...

FAC.-No".

(Cfr. B2[10](500)).

De manera que en el Episodio B2 la "fuerza de rozamiento" se llama ahora "fuerza del aire", y *tiene la función*, junto con la gravedad, de hacer que *la velocidad crezca*.

En los otros Episodios del Sistema B, - B0 y B'0-B2 -, esta "fuerza del aire" no actúa (Cfr. B0[4](360), B'0-B2[9](490), etc), y, por lo tanto, *no tiene ninguna función*. Por esta razón no se explicita.

Representación gráfica

En el Episodio B1, el *aire* se representa con una flecha grande muy por encima de la flecha en dirección contraria a la misma, indicando el sentido de su movimiento. En la flecha se representa su *actuación* (el "rozamiento") con una flecha pequeña, rotulada con una r y se advierte que sólo actúa en la superficie de la flecha. Pero no en toda ella, sino en las opuestas a la dirección en la que se mueve el aire (Cfr. B1[G5](430)).

En el Episodio B2, la *actuación* del aire se representa con una flecha pequeña en la dirección del aire, rotulada con una a, y que actúa sólo en la parte de la superficie de la flecha que se opone a la dirección del movimiento del aire (Cfr. B2[G7](510)).

La representación gráfica responde bastante bien a las explicitaciones de FAC, y aclaran definitivamente su conceptualización como candidato causal dinámico.

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

- *Energía cinética de rotación, energía de rotación, movimiento de rotación, energía del ratón, energía comunicada por la fuerza de la gravedad, energía obtenida, energía cinética, energía de variación del vector*, ... son términos con los que FAC, en todos los casos, designa un candidato causal probable al que asigna la función de un candidato causal prototípico: una "fuerza" (A1[9ii](050)), o "impulso" (C[21ii](770), D'0[6i](840)). Ver, por ejemplo, las funciones ejercidas en A1[10i](060), A1[13](090), A2.1[21](220), C0(F)[18](710), C'1[21](760), D0[1](800), D1[3i](830), etc.

- El *peso*. El "peso", para FAC, NO es un candidato causal probable, sino un atributo del material. Así se deduce de sus expresiones: en A1[13](090) se cita por primera y única vez en el Sistema A, para decir que "complementa a la velocidad"; en B[G1i](310) y B'0-B2[9](490), donde condiciona la acción de la gravedad; en C0[9i](680) y C0[10](680), donde "complementa" a "g" para "dar una fuerza". En ningún caso está claro que se le asigne una función de candidato causal, ni ésta nunca se explicita.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE JUC

JUC habla con soltura y fluidez. Ella misma pone a veces a prueba la robustez de los modelos causales que produce. Dispone de muchos candidatos causales para explicar el comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios, de manera que puede considerarse como ilustrativa de utilización de candidato causal *probable*. Pierde soltura en las respuestas al explicar el funcionamiento del Sistema C, partes C y D, a pesar de que asegura que le resulta familiar y que forma parte de su experiencia personal.

1. DIVISION EN EPISODIOS

JUC describe el comportamiento de los Sistemas representados en los distintos Comics como constituidos por los Episodios siguientes:

- **Comic A.** Los Episodios: **A0**, que primero permanece implícito (Cfr. A0[1](010), A0[4](030)) y después se explicita (Cfr. A0[14](080)); **A1** (Cfr. [2](010)); **A2**, que primero se conceptualiza de manera global (Cfr. A2[3](010), A2[8](030), y que luego se explicita como constituido por los **A2.1** (Cfr. A2.1[11](050), A2.1.[17](170): movimiento de caída "curvo", motivado por la existencia de una "fuerza" mítica), y **A2.2** (Cfr. A2.2[12](050), A2.2[12](050), A2.2[18](190), caída vertical).

- **Comic B.** Los Episodios: **B0**, explícito desde el primer momento (Cfr. B0[1](230)); **B1** (Cfr. B1[2](230)); **B'0** (Cfr. B'0[3](230)); y **B2** (Cfr. B2[4](230)).

- **Comic C, parte C.** Los Episodios: **C0** (inicial), que primero permanece implícito (Cfr. C0[1](360)), y después se explicita (Cfr. C0[9](390)); **C1** (Cfr. C1[5](380)); **C'0** (Cfr. C'0[6](390)); **C2**, que primero aparece conceptualizado como englobando a los Episodios **C2-C''0-C'1** (Cfr. C2[7](390), C[8](390); C2[15](500), C[17](540); C2[22i](590), C'1[23](590); C2[24](640), C''0-C'1[25](650), C'2[27](660), C[28](660)) y que luego parecen identificarse como **C2**, **C''0**, **C'1** (Cfr. C[30](670) y C[30i](670)); **C'2**, de bajada (C'2[27](660)); **C'''0** (Cfr. C'''0[19](590)); y el **CO (F)** (Cfr. CO(F)[17](540)).

- **Comic C, parte D.** Los Episodios: **D0** (Cfr. D0[1](710)); **D1** ((Cfr. D1[2](730)); **D'0** (Cfr. D'0[3](750)); **D2**, constituido por los Episodios **D2.1** (Cfr. D2.1[7](810), primera parte de la bajada) y **D2.2** (Cfr. D2.2[9](840), segunda parte de la bajada, caída vertical).

En relación a los Episodios considerados por JUC, destacaríamos la conceptualización de los C2-C"0-C'1 como constituyendo un sólo Episodio, prácticamente hasta el final de sus comentarios sobre este Sistema.

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

JUC utiliza con soltura todos los Principios causales característicos de una concepción causal ontológica. Destacamos algunas de las descripciones que tipifican tipos de razonamientos apoyados en estos Principios.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

Utilizado por JUC en los Episodios: A1[2](010), A2.1[11](050); B1[2](230), B0[9i](290), B'0[11](300), B1[G3](310); C[2](360), C'0[14](440), C'0[14i](440); D0[1i](710), D1[7](810), D2.1[8i](820). De este total de 12 Episodios, sólo en 4 de ellos la utilización de este Principio fué propiciada por el teachback. Puede decirse que es bastante espontánea por parte de JUC.

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

El modo de razonar causalmente implicado en el Principio de Productividad es utilizado por JUC en los Episodios A2[3](010), A1[5](030), A1[9](040), A2[13](060), A2.1[17](180), A2.1[19](200), A1[20](200); B2[4](230), B2[8](280), B0[9](280), B1[10](290); B2[13](330), B2[14i](340); D[3](370), C1[5](380), C1[11](400), C1[13](430), C'0[G2i](470), C2[16](520), C2[22i](590), C"0-C'1[25](650), C0[28](660); D1[2](730). De estas 24 explicaciones, sólo fueron espontáneas 7, siendo el resto propiciada por el teachback. El esfuerzo por parte de JUC en mantener este Principio (explicar un "efecto" mediante la caracterización del candidato causal probable adecuado) es un recurso utilizado por el entrevistador en el teachback, que siempre ha dado resultado, aunque para ello JUC haya tenido que recurrir a candidatos causales míticos.

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

- JUC enuncia *condiciones estructurales* que permite que la acción causal discurra en los Sistemas de la manera que lo hace. Así en A2[3](010), A2[8](030), A2.1[11](050), A2.2[12](050), A2[12i](050), donde *el final de la tabla* es condición para que la bola empiece a caer o que "actúe" la gravedad; en A0[14](080), A0[14i](090), en los que la *horizontalidad de la tabla* es condición para que los candidatos causales probables no "actúen" en A0; en C1[12](420), C2[15](500) y C2[16ii](540), donde el *eje y las cuerdas*

del columpio condicionan la trayectoria de subidas y bajadas; en D[G2](680), donde el *ángulo de salida* de Zipi condiciona que llegue a caer verticalmente en algún momento.

- También JUC utiliza condiciones *dinámico-estructurales* en A1[G6](130), donde la *inclinación de la tabla* afecta a la "actuación" de la fuerza "normal"; en A0[14ii](100) y C1[12](420), donde el *punto de aplicación* o la *inclinación* de la "fuerza", condicionan su efecto causal en el Sistema.

- Por último, JUC describe *condicionamientos dinámicos* para que se posibiliten determinadas acciones causales. Así en A2[12i](050), donde una "fuerza insuficiente" actuando en A1 permitiría una caída vertical; en C'0[14](440), donde la actuación de "fuerzas exteriores" es necesaria para la anulación del movimiento; en C'0[G2i](470), donde la "masa", candidato causal mítico, no intervendría si la bajada fuera "caída libre"; en D'0[3](750), donde la anulación de la "fuerza de subida" es condición para que empiece a actuar la "fuerza de bajada", etc.

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

El Principio de Univocidad parece utilizarse preferentemente por JUC en los siguientes Episodios: A2.2[18](190); B'0[3](230), B'0[7](280); C'0[6](390), C''[22](590), C'''0[26](650), D'0[3](750). En todos ellos JUC se encuentra con la necesidad de hacer desaparecer un "efecto" para que el modelo causal del Episodio sea *correspondiente*. Para ello, y para preservar el Principio de Univocidad, según el cual *la misma causa produce siempre el mismo efecto*, tiene que eliminar la "causa" que, caso de actuar, produciría tal efecto. Esto lo consigue utilizando la Heurística Canónica, como se verá más adelante.

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

El Principio de Asimetría está destacado en el Análisis en los Episodios donde JUC lo utiliza como recurso para conjugar candidatos causales reales y míticos y explicar de esta manera el comportamiento de los Sistemas. Estos candidatos causales se articulan en estos casos en forma de estructuras simples o compuestas. Son los casos: A1[6](030), A1[7](030), A1[G4](060), A1[16ii](170), B1[6](280), B2[14ii](340); C2[16ii](530), C0 y C0(F)[18](560), C'0[20](590); D0[1](710), D0[4](750), D0[G3](750), D1[5](760), D'0[6](790), D'0[6ii](800), D2.2[9](840). De estas 16 explicaciones, *sólo una* (B2[14ii](340)) fué propiciada por las cuestiones planteadas en el teachback. Las otras fueron ofrecidas espontáneamente, aunque dentro del proceso de teachback.

3. LOCALIDAD

En relación al Sistema A sólo destacamos un hecho llamativo: En los Episodios A0 y A1 nunca utiliza la "gravedad" como candidato causal probable. (Cfr. A0[1](010), A1[2](010), A0[4](030), A1[9](040), A1[G4](060), A0[14](080), etc). En el Episodio A2 siempre la utiliza, aunque con matices también locales: En A2.1, no interviene (Cfr. A2.1.[11](050) y A2.1[17](180)), mientras sí interviene en A2.2 (Cfr. A2.2[12](050) y A2.2[18](190)). Aunque finalmente JUC "aprende" que también interviene en A2.1. (Cfr. A2.1[19](200)).

En cuanto al Sistema B, la utilización del razonamiento local es particularmente manifiesto en las explicaciones consecutivas a los Episodios B0[9i](290), B1[10](290) y B'0[11](300): en el primero actúan la "gravedad" y otra "fuerza"; en el segundo sólo la "fuerza"; y en el tercero vuelven a actuar la "gravedad" y la "fuerza".

En el Sistema C, parte C, es notable la serie de explicaciones sucesivas a los Episodios C1[12](420), C1[13](430), C'0[14](440), C'0[14i](440), C'0[14iii](450) y C2[15](500): en los primeros (C1, subida) actúa un sólo candidato causal probable: la "fuerza"; en los segundos (C'0, altura máxima y parada) se añaden sucesivamente otros candidatos causales, como "fuerzas exteriores", "gravedad", "peso" y "masa; en C2 (bajada) desaparecen estos candidatos causales y sólo actúa un candidato causal: una "fuerza".

En la parte D del Sistema C, destacaríamos los diferentes candidatos causales utilizados por JUC en los distintos Episodios: D0[1](710), D1[2](730), D'0[3](750), D2.1[7](810), D2.2[9](840). Aunque los Episodios son consecutivos, los candidatos causales utilizados son diferentes, dependiendo de las características *locales* de cada Episodio.

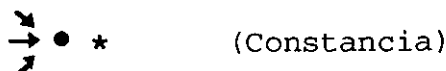
4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

Casi todas las *explicaciones espontáneas* que JUC ofrece de los distintos Sistemas antes de comenzar el teachback, se basan en modelos causales que presentan una estructura que pone en relación

1 causa -> 1 efecto

Sólo en una ocasión (A1[2](010)) JUC maneja explícitamente en su modelo inicial una estructura causal compuesta, del tipo



Superposiciones

JUC expresa en dos ocasiones modelos causales que son una simplificación de toda la dinámica del Sistema, reducida a una sola causa y a un sólo efecto. Así en C2[2](360) y D[3](370), de estructuras respectivas



Como demuestra en sus explicitaciones posteriores, se trata de verdaderas simplificaciones del funcionamiento del Sistema, que JUC conoce como mucho más complejo.

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

Se ha representado la estructura de los modelos causales que maneja JUC al explicar los Episodios de los distintos Sistemas A, B y C, durante el proceso de teachback, en 52 ocasiones. De éstos, un total de 21 presentan la estructura simple:

1 causa \rightarrow 1 efecto (Constancia)

1 efecto \leftarrow 1 causa (Productividad)

Se observa también en el proceso de teachback una tendencia a producir modelos causales simples al principio de las explicaciones, siempre que los modelos sean en primera aproximación, *correspondientes*. Por ejemplo: A1[5](030), A2.1[11](050), A2[12](050); B'[7](280), B2[8](280); C1[11](400), C2[15](500); D0[1i](710); D2.1[7](810), etc.

Cadenas causales simples

En 8 ocasiones se han representado los modelos mentales utilizados por JUC con estructuras de cadenas causales simples, que aparecen representadas de diversas maneras, según los razonamientos procedan de causas a efectos, de efectos a causas, etc.:



Estas estructuras son explícitas en 5 ocasiones, A1[6](030), A2[16ii](170), B1[6](280), C2[16ii](530), D0[G3](750); son manejadas implícitamente en los Episodios B1[14ii](340), C'0[20](590) y D1[5](760), posteriores secuencialmente a los antes citados.

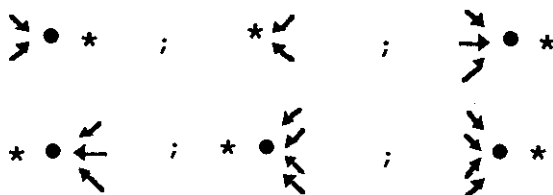
En todas ellas se utiliza el Principio de Asimetría, y se conjugan candidatos causales reales y míticos para explicar el comportamiento del Sistema en el Episodio correspondiente.

Estructuras causales complejas

Varias causas, un efecto

La explicitación de varios candidatos causales para explicar un efecto es muy frecuente en JUC: A1[9](040), A2.1[19](200), A1[20](200); B0[9i](290), B'0[11](300), B1[11i](300), B1[G3](310), B'0[12](320); C'0[14](440), C'0[14i](440), C'0[14iii](450), C'0[G2i](470), C2[22i](590), C0[29](660); D1[2](730), D2.1[8i](820). Es característica la utilización de candidatos causales aparentemente no necesarios en A1[9], A1[20]; C'0[G2i], C0[29]. En todas ellas se manejan candidatos causales reales y míticos.

Las estructuras son del tipo:

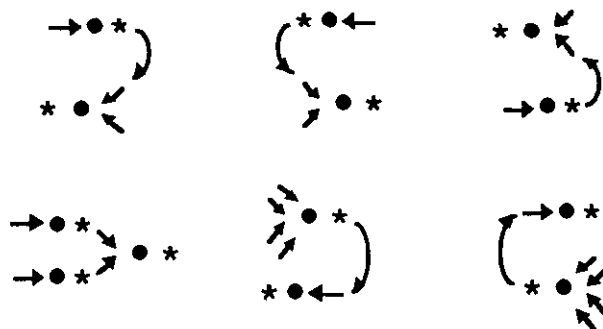


Cadenas causales complejas

La producción de cadenas causales complejas también es abundante en el caso de JUC, que explicita seis: A1[7](030), A1[G4](060); D0[1](710), D0[4](750), D'0[6ii](790),

D2.2[9](840); y maneja implícitamente en dos ocasiones: C y C0(F)[18](560), C"0[20](590), y D'0[6](790). En este total de 9, se manejan candidatos causales redundantes en 3 ocasiones: A1[7], A1[G4] y D2.2[9].

Las estructuras causales son del tipo:



En todos los casos se utilizan candidatos causales reales y míticos.

La complejidad de estos tipos de estructuras, y la utilización de candidatos causales redundantes quizá sea debida a que JUC dispone de información sobre ciertas nociones "científicas" no asimiladas, que hace intervenir en los modelos causales de los distintos Episodios.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

Al explicar el funcionamiento de los tres Sistemas considerados, JUC utiliza tanto la *Convención Amplia* como la *Heurística Canónica*, como se señala a continuación.

CONVENCION AMPLIA

JUC utiliza la Convención Amplia en sus *explicaciones espontáneas* cuando está considerando los Episodios en que los Sistemas están en reposo. Son los casos A0[1](010), B0[1](230), B0[G1](240), C0[1](360), C0[4](380), C0(F)[9](390). Son más llamativos los casos B0 y C0, porque ya a lo largo de la entrevista sobre el Comic A han aparecido candidatos causales, como "la gravedad", que JUC conoce que ejercen su acción en todas las situaciones (Cfr. A2[13i](070)).

Durante el *proceso de teachback* sigue utilizando la Convención Amplia cuando los Sistemas están en reposo (A0[14](080), A0[14i](090), B0[9](280), C0[10](400), C'0[G2i](470), D0[1ii](730) y en otros Episodios donde los Sistemas están en movimiento (A1[5](030), A2.1[11](050), A1[G6](130), A2.1[17](180)), donde no menciona la

gravedad, a pesar de que JUC conoce que "actúa"; B1[6](280), B1[10](290), B1[11i](300), donde tampoco menciona la gravedad aunque explícitamente conoce que "actúa" (Cfr. B12[11i]); B1[G3i](310), donde la "masa" es un candidato causal que aunque esté presente tampoco "actúa"; C1[11](400), donde la "gravedad" tampoco "actúa", aunque JUC conoce que está ahí como candidato causal; D[G2](680), donde g sólo interviene en el tramo de "caída libre", y D1[5](760), en que tampoco "actúa" g (a pesar de que anteriormente la representa gráficamente).

JUC explicita en algunas de sus explicaciones las Convenciones que realiza. En todos los casos se ajustan al concepto de "Convención Amplia" como se define en el modelo de de Kleer y Brown: agentes causales que producen unos efectos imperceptibles en el sistema, y que por lo tanto pueden ignorarse. Por ejemplo:

- "La Normal no le afecta..." (A0[14i](090), A1[G6](130))
- "También actúa aquí [la fuerza de la gravedad], pero... al principio [la fuerza inicial] la vence sin problemas" (B1[11i](300)).
- "También influye la masa de la flecha. Pero la supongo despreciable" (B1[G3i](310)).

HEURISTICA CANONICA

En 8 ocasiones JUC recurre a la Heurística Canónica para asegurar la correspondencia del modelo causal que utiliza para explicar el comportamiento de los Sistemas, al mismo tiempo que preserva el *Principio de Univocidad*. Son Episodios en que el movimiento de los Sistemas cambia de dirección o de sentido, y el modelo causal tiene que explicar los cambios correspondientes experimentados por los atributos de los materiales. Tanto en las explicaciones *espontáneas* a los Episodios (B'0[3](230) C'0[6](390)) como los producidos durante el *teachback* (A2.2[12](050), A2.2[18](190), B'0[7](280), C'0[22](590), C'0[26](650), D'0[3](750)), en todas ellas se afirma que: la "fuerza" (considerada al mismo tiempo como candidato causal mítico y como atributo) "desaparece", "se anula" (A2.2[18](190), C'0[6], C'0[22]); la "aceleración" (también considerada como candidato causal mítico y como atributo) "se anula" (B'0[3]) o "se pierde" (B'0[7]; la componente vertical del movimiento (Y), "se anula" (D'0[3]).

Al cuestionar a JUC por la *coherencia* y *robustez* de estos modelos, durante el proceso de *teachback* subsiguiente, es capaz de reconstruirlos y explicitar de algún modo mecanismos de "desaparición" o de "anulación" de los atributos considerados, en los casos A2.2, B'0, C'0 y D'0 (Cfr. A2.2[19](200), B'0[11](300), C'0[14](440) y D'0[6](790)), aunque al tratarse de candidatos causales míticos, los modelos causales producidos

permanecen ambiguos. Sólo en el caso de C⁰ se mantiene hasta el final de la entrevista la Heurística Canónica y no se articula un mecanismo explicativo.

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

El prototipo de candidato causal probable es para JUC "la fuerza". Lo expresa claramente en A0[14ii](100), B0[9i](290), C1[11i](410), D0[1ii](730). Incluso cuando no sabe qué candidatos causales están actuando, les atribuye la naturaleza de "fuerzas" (Cfr. C⁰[14](440), D2.2[9](840)).

El prototipo de "efecto" es fácilmente deducible de las explicaciones de JUC acerca de cuando "actúa" un candidato causal probable: cuando produce un cambio dinámico perceptible en el Sistema. Así en A0[14i](090) y en A1[G6](130), donde "la normal no le afectaría" (al movimiento) porque no produce ningún "efecto" sobre el mismo; en B0[9](280), donde la gravedad no actúa, aunque esté ahí "porque tiende a estar pegado, debería estar en el suelo"; y en B1[10] tampoco "actúa" porque la única fuerza responsable de la subida (de producir el efecto dinámico de subir) es "la misma fuerza (inicial), que, aunque más débil, se va manteniendo". Del mismo modo, excluye el "peso" como candidato causal para explicar la bajada en el caso del Columpio (parte C) ya que

- "Bueno, no. El peso le hace ir hacia abajo y ya está". (C2[15](500)).

De manera que

- "para que de verdad baje... se origina otra fuerza de bajada". (C2[16ii](540)).

Posiblemente esta concepción prototípica de "efecto" influya en la frecuencia con que JUC utiliza la Convención Amplia, donde se ve una tendencia a no mencionar agentes causales en los Episodios donde el Sistema está en reposo, o donde los efectos de su "actuación" no son claramente identificables y perceptibles en los Episodios donde se describen movimientos.

También podría decirse que estas concepciones prototípicas de "causa" y "efecto", aunque no agoten los conceptos de JUC sobre los mismos, sí condicionan en estos Sistemas dinámicos los candidatos causales que considera más probables: se observará una tendencia a recurrir a los candidatos causales dinámicos con perjuicio de los candidatos causales estructurales. Esto se vera más adelante.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontáneas

Candidatos causales dinámicos

Los candidatos causales que JUC utiliza en sus explicaciones espontáneas acerca del funcionamiento de los Sistemas A, B y C, son en primer lugar las "fuerzas", "empujes" o "lanzamientos", que comunican a los Sistemas agentes exteriores: *ratón* (A1[2](010)); *hombre* (B0[1](230), B0[G1](240)); *Zape* (C[2](360), C1[5](380)). Estos agentes exteriores son los responsables de la *puesta en marcha* del funcionamiento de los Sistemas. En los Episodios de *caída*, o *bajada*, se explicita como único responsable al candidato causal "gravedad" en los Sistemas A y B (A2[3](010), B2[4](230)). Para mantener el movimiento de los Sistemas, una vez iniciados, intervienen candidatos causales dinámicos reales y míticos. Así, en A1[2](010) hace intervenir la "masa", cuya conceptualización permanece ambigua; y en D[3i](370), donde se combinan la "fuerza centrífuga", que mantiene a los cuerpos "en la dirección del radio de la circunferencia", hacia el centro, y la "fuerza centrípeta", "tangente a la trayectoria", que "haría que los cuerpos salieran despedidos en un punto determinado". Espontáneamente la gravedad no se menciona en los Episodios de bajada del Sistema C, partes C y D. Como veremos más adelante, la conceptualización de los modelos causales que explican estos Episodios no le resulta a JUC demasiado trivial.

Candidatos causales estructurales

En las *explicaciones espontáneas* de los Episodios, JUC cita elementos estructurales en los tres Sistemas, A, B y C: *borde* (A1[2](010), A2[3](010)); *arco* (B'0[3](230)); *eje*, *cuerdas*, *columpio* (D[3i](370)). En todos estos casos son considerados como CONDUCTOS, condicionantes o soportes de la acción causal. En A1[2](010), JUC explicita el *rozamiento* como candidato causal. Esto supone que *la balda* por donde se desplaza la bola es considerada implícitamente como un COMPONENTE, pero la conceptualización no se hará explícita hasta más adelante (Cfr. A1[G5i](120)) y permanecerá ambigua hasta el final.

En relación a las explicaciones espontáneas habría que hacer notar:

- JUC es la única que utiliza agentes causales redundantes para asegurar la *correspondencia* del modelo causal del Sistema (A1[2](010)).
- El funcionamiento de los distintos Sistemas se explica utilizando candidatos causales dinámicos, con perjuicio de los estructurales.

- La acción de la gravedad no se explicita en los Episodios de bajada o de caída, en el Sistema C (partes C y D).

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

Del total de 116 explicaciones que JUC ofrece acerca del funcionamiento de los Sistemas A, B y C, tan sólo en 18 de ellos menciona elementos *estructurales* explícitamente, y en otros 4 parece que los maneja implícitamente en los modelos causales de los Episodios a los que aluden.

En relación al Sistema A, JUC menciona *explícitamente* la *escoba* (A1[5](030)); la *balda* o *tabla* (A1[5](030), A1[G5i](120)); el *borde* de la *tabla* (A2[8](030), A2.1[11](050), A2[12i](050)); la *tabla recta* (horizontal) (A0[14](080), A0[14i](090), A1[G6](130)). Sólomente en uno de estos Episodios un elemento estructural es explicitado como candidato causal probable, la *tabla* (A1[G5i](120), que en este Episodio es considerado como un COMPONENTE responsable de que actúe un "rozamiento". La *tabla recta* se menciona como un *condicionamiento estructural* que podría posibilitar (caso de no serlo) la acción del candidato causal probable dinámico al que JUC denomina "Normal". Los otros elementos se consideran como CONDUCTOS, que simplemente *soportan* o *condicionan* la acción causal.

En el Sistema B, se explicita el *arco* en dos ocasiones (B1[6](280) y B0[9](280)), como CONDUCTO que transmite la "fuerza" del hombre; y la *mano*, como CONDUCTO alternativo (Cfr. B0[9i](290)).

En el Sistema C, parte C, son explicitados el *columpio* y el *eje* (C1[12](420)); las *cuerdas* (C2[15](500), C y C0(F)[17](560)), y el *aire* (C2[22i](590) y C'1[23](600)). *Columpio*, *eje* y *cuerdas*, son CONDUCTOS, a los que JUC no atribuye ningún papel causal. Su papel en el Sistema es permitir o condicionar el camino que sigue la acción causal. El *aire* es un candidato causal estructural del entorno del Sistema, que JUC considera incluido en la topología del mismo como un COMPONENTE que justifica la existencia del rozamiento y que posibilita explicar así la disminución de las "fuerzas" que actúan. De esta manera se preserva la *coherencia* del modelo causal de los Episodios.

En el Sistema C, parte D, el único elemento estructural que se explicita es el "*ángulo*" de subida de Zipi (D[G2](680)), y que es un *condicionante* de la trayectoria de éste.

En definitiva, JUC sólo utiliza en una ocasión explícitamente un elemento del Sistema como un COMPONENTE: la *tabla*, en el Episodio A1[G5i](120). Lo hace para justificar la

existencia del "rozamiento", que ya había explicitado en otros momentos (Cfr. A1[7](030), A1[9](040), A0[14](080)) sin mencionar su origen. En el Sistema C, parte C, JUC recurre a un COMPONENTE estructural *del entorno* del Sistema, el *aire*, también para justificar la existencia de "rozamiento" en los Episodios C2[22i](590) y C'1[23](600).

Puede, pues, afirmarse la tendencia de JUC a ignorar posibles candidatos causales estructurales, concentrándose también en el proceso de teachback en los candidatos causales dinámicos para explicar causalmente el comportamiento de los Sistemas. Es llamativo que en el caso del Sistema C, parte C, aún conociendo la existencia de elementos estructurales (por ej. *eje*) que podrían haber explicado la acción del "rozamiento", JUC recurra para esto a un elemento del entorno: el *aire*.

i) El "rozamiento"

El rozamiento es un candidato causal probable que JUC utiliza para explicar el comportamiento de los Sistemas en diversos Episodios. Su origen, en el caso del Sistema A es "el contacto entre la superficie de la bola y de la tabla". Aunque no parece que JUC comprenda muy bien lo que esto quiere decir, ya que su existencia se postula a partir de un efecto que hay que explicar (Principio de Productividad):

ENT.- "¿Cómo sabes tú que hay un rozamiento?"

JUC.- Porque la bola se ha... va perdiendo velocidad... Bueno es que, verlo, verlo, no lo puedo ver. Puedo comprobar que hay algo, porque si no hubiera rozamiento... con darle una fuerza mínima, la bola seguiría moviéndose indefinidamente" (A1[Gii](120)).

En el caso del sistema C, parte C, su origen está en el *aire*, que actúa "como algo que roza" y que "inhibe ese movimiento". De manera que parece que JUC comprende bien la "función" del "rozamiento" en los Sistemas, pero no su naturaleza: nunca lo relaciona con la "normal", ni con "el peso", (candidatos causales que conoce), ni con la naturaleza de las superficies que están en contacto.

JUC adjudica al "rozamiento" las características del candidato causal prototípico: la fuerza. Así, se compone con otras "fuerzas" opuestas (por ejemplo: A1[2](010), A[2](030)) o "exteriores" (A1[9](040)) para disminuir o anular el movimiento (por ejemplo, A0[14i](090)); y se puede sumar a otras "fuerzas" (por ejemplo, A1[G6](130)).

Adviértase cómo se pone de manifiesto el *pensamiento local* de JUC en la explicitación tanto del origen como de la actuación de este candidato causal: A pesar de que *el aire* es un elemento estructural del que JUC afirma

- "Siempre influye el rozamiento con el aire" (C'1[23](600)).

sólo lo menciona en el Sistema C, parte C. En los Sistemas A, B y C, parte D, permanece implícito. Y esto aunque en el caso del Sistema C, parte D, alude al "rozamiento" sin explicitar su origen (Cfr. D2.2[9](840)).

Candidatos causales dinámicos

Una vez puestos en marcha los Sistemas por la acción de agentes exteriores a los mismos (*ratones, hombre, hermano*) la evolución de los atributos de los materiales en los distintos Episodios de cada uno se explica por la acción de diversos candidatos causales. En el caso de JUC los más significativos (además de la "fuerza suministrada", que no describimos por estarlo ya ampliamente en la literatura) son los siguientes:

i) La "gravedad", g

La "gravedad", casi siempre nombrada así por JUC, *"es la fuerza con que la tierra atrae un Kg de masa, o algo así..." "básicamente es lo mismo" [que la fuerza de los ratones]... Es "como el centro de la Tierra que atrae... Por la cantidad de fuerzas que tenga, pues... hace que todo lo que haya alrededor lo atraiga, como si fuera un imán... y con distinta fuerza; según la distancia a que está, así será más fuerte" (A1[13i](070). Aunque "a distancias pequeñas se puede considerar constante en todos" [los puntos] (A2[16i](140)).*

La gravedad tiene las propiedades de una "fuerza": Actúa junto con otras "fuerzas" (A2.1[19](200), B0[9i](290), C'0[14i](440), D1[2](730), etc.); produce cambios dinámicos en los Sistemas (A2[3](010), B2[4](230), C2[16ii](540), D'0[6](790); "desgasta" a otras "fuerzas" (B1[G3](310), B'0[12](320), D'0[6](790)).

Actúa independientemente del "peso" (C'0[14i](440), C'0[G2i](470)) y de la "masa" (C'0[G2i](470)). A veces se convierte en una "aceleración" (C'0[14iii](450), D'0[3](750), D2.1[7](810)), y adquiere el valor "9.8" (B'0[12](320)).

Funciones de la "gravedad"

JUC considera que la gravedad no "actúa" cuando el Sistema está en reposo (A0[1](010), A0[4](030), A0[14](080), B0[1](230), B0[G1](240), B0[9](280), C0[1](360), C0[4](380), C0(F)[9](390), C0[10](400), CO(F)[17](560), C0(F)[28](660)). Esto sucede incluso donde considera este "reposo" como transición de un Episodio a otro (D0[1](710), D0[4](750), D0[G3](750)) y en el punto coincidente de tal "transición" tiene a la vista, representadas gráficamente, las actuaciones de la "gravedad", g, y del "peso", p (Cfr. por ejemplo, C'0[14](440), C'0[14i](440), C'0[G2](460)). Lo cual implica que JUC *no la considera un candidato causal probable nada más que en los casos en que produce*

efectos dinámicos observables en el Sistema. No puede considerarse como ignorancia de su presencia en los casos en que realiza la Convención Amplia y la desestima, ya que JUC hace explícita esta convención, cuando explica lo que sucede en el Episodio B0[9i](290):

- "... tiende a estar pegado. Debería estar en el suelo, por la *gravedad* que los atrae hacia la superficie terrestre. Entonces, a no ser que le apliques una fuerza... Si no, no se iría hacia arriba".

Cuando el Sistema está *en movimiento*, la "gravedad" no se explicita hasta el momento en que es necesaria para dar cuenta del comportamiento del Sistema, y salvar la *correspondencia* del modelo causal construido para explicar el mismo.

En estos casos, la función de la "gravedad" es "hacer caer", "hacer bajar"; caer "vertical", "caer como una piedra", "caída libre" (Cfr. A2[3](010), A2[13](060), A2[15](140), B2[4](230), B2[8](2280), B2[13](330), B2[G4](340), D2.1[8i](820), D2.2[9](840)). Por esta razón los modelos en que utiliza la gravedad para explicar el "desgaste" o la "anulación" de las "fuerzas" de subidas que JUC supone verticales, son *robustos* (B'0[11](300), B1[11i](300), B1[G3](310), B'0[12](320), D1[2](730), D1[5ii](770), D'0[6](790), D2.1[8i](820)). Pero su función como candidato causal no aparece tan clara cuando esta "verticalidad" no es fácilmente conceptualizable para JUC. Ver por ejemplo C2[16ii](530) C y CO(F)[17](540), y C'0[20](590), donde para explicar la bajada no "vertical", JUC recurre a un candidato causal probable mítico, producido por la gravedad, responsable de la trayectoria del columpio:

- "... Pero para que de verdad baje, pues... al llegar aquí se origina otra fuerza de bajada... Supongo que le influye la gravedad... Sí, claro, caería por la gravedad, pero como está sujeto a esta cuerda, pues tiene que seguir su trayectoria..." (C2[16ii](530), C y CO(F)[17](540)).

O ver también los Episodios C'0[14i](440) y C'0[G2i](470), donde recurre a una acumulación de otros candidatos causales en el modelo causal, cuyas funciones no acaban de estar explicitadas.

Así como es clara la función de la gravedad para provocar "caídas", es también claro que JUC *no le atribuye la función de producir cambios en los atributos de los materiales, una vez que estos ya están "cayendo"*. Por ejemplo, para explicar el aumento de velocidad en los Episodios A2[16ii](170) y B2[14ii](340), JUC recurre a una cadena causal, en la que la "gravedad" produce una "aceleración" (candidato causal mítico) y ésta es la responsable del crecimiento de la velocidad.

ii) Aceleración

La "aceleración" es un candidato causal dinámico de naturaleza mítica al que JUC recurre para dar cuenta de los atributos de los materiales en los Episodios donde se realizan cambios en los mismos. La utilización por parte de JUC de este candidato causal es espontánea y natural, de manera que parece ser un componente de los modelos causales iniciales ya elaborados conscientemente por JUC antes de la entrevista (Cfr. A[6](030), A1[7](030), B'0[3](320), B1[6](200), D0[4](750), D0G3](750), etc.).

Origen de la "aceleración"

La "aceleración" la produce siempre una "fuerza", real o mítica:

- "Le produce una aceleración esa fuerza. Y esa aceleración produce un movimiento rectilíneo" (A1[6](030)).
- "Al lanzarla con el arco le produce una aceleración, que es la que hace que suba para arriba" (B1[6](280)).

De manera que el modelo causal de los Episodios en los que interviene presenta ordinariamente una estructura de *cadena simple* (A1[16ii](170), B2[14ii](340), D0[G3](750), D1[5](760)) o *compuesta* (A1[7](030), D0[4](750), D'0[6](790), D2.2[9](840)), construida utilizando el Principio de Asimetría, con lo que se consigue salvaguardar las condiciones de *coherencia* y *correspondencia*.

Funciones de la "aceleración"

La "aceleración" tiene para JUC las mismas funciones que un agente causal prototípico: *produce movimientos* (A1[6](030), D1[G3](750)), *aumento de velocidad* (A1[16ii](170), B2[14ii](340)), *se compone* con "fuerzas" (A1[7](030), D0[4](750)), y hasta se identifica con ellas (D2.1[7](810)); *si se anula, se anula el movimiento del Sistema* en el Episodio considerado (B'0[3](230), B'0[7](280)).

Podría asegurarse al ver la frecuencia y la soltura con que JUC maneja este candidato causal, que su conceptualización parece responder a una falta de asimilación del concepto de "aceleración" que le han enseñando en clase. La ecuación, seguro familiar para JUC, $F=m.a$, donde la **Fuerza causa la aceleración**, parece que ha sido completada en su significado por JUC de la manera siguiente:

| | |
|---------|-----------------|
| $F=m.a$ | donde F causa a |
| $a=v/t$ | donde a causa v |

o por

$$a = \frac{v}{t} \Rightarrow a = \frac{s}{2} \quad \text{donde } a \text{ causa } s$$

Habría que señalar que a nuestro juicio no se trata simplemente de que JUC confunda la "fuerza" física con la "aceleración" física. Sino que *causalmente* le atribuye las mismas funciones, y por tanto como tales agentes causales pueden sumarse, restarse, anularse o intercambiarse, como sucede en D2.1[7](810). Pensamos que más que confusión "física", hay confusión "funcional". Esta confusión funcional ya detectada en la literatura sobre concepciones espontáneas puede explicarse desde la concepción causal de JUC, y es la que realmente dificulta el aprendizaje con "sentido" científico.

iii) La "masa"

La "masa" es un candidato causal probable místico citado explícitamente por JUC desde el principio de la entrevista (Cfr. A1[2](010)). Es distinta de la "masa" que intervienen en el "peso" de los cuerpos (Cfr. C'0[14iii](450), y la frecuencia y espontaneidad de su utilización explícita por parte de JUC hace pensar que es un candidato causal ya elaborado antes de la entrevista.

Origen de la "masa"

No se explicita en la entrevista.

Funciones de la "masa"

La "masa" es considerada por JUC con las funciones de un candidato causal prototípico: se compone con "fuerzas" y "aceleraciones" (A1[2](010), C'0[14iii](450), C'0[G2i](470), C y CO(F)[18](560), C'0[20](590), para determinar el *movimiento* del Sistema, o *anularlo* (A1[7](030), A1[G4](060), CO(F)[29](660), D2.2[9](840)). Cuando el sistema está en reposo no "actúa": siempre se aplica la Convención Amplia (no produce efectos dinámicos perceptibles). Y en algunas ocasiones, aunque el Sistema esté en movimiento, tampoco "actúa" (por ejemplo, en todo el sistema B), haciéndose explícita la Convención Amplia:

- "La masa de la flecha [también influye]. Pero... la considero despreciable" (B1[G3i](310)).
- "No subiría tan alto [si la masa no fuera despreciable] si le aplican la misma fuerza" (B1[G3ii](320)).
- "Si fuera un movimiento de caída libre, no importa la masa que sea" (C'0[G2i](470)).

La función característica de este candidato causal es la de "oponerse al movimiento":

- "La misma fuerza aplicada a un cuerpo de masa mayor... pues provocaría menos movimiento" (B1[G311](320)).
- "Las dos [fuerzas] hacen que el cuerpo baje... el peso y la gravedad... Bueno, y la masa del muñeco, que simplemente se opone al movimiento: (C'0[G2i](470)).

De ahí que en algún momento JUC, que parece disponer de abundantes candidatos causales probables, la "sustituya" por otros posibles candidatos que tienen esta misma función en el modelo causal que explica el Episodio. Así en A1[9](040), donde parece ser sustituida por "otras fuerzas exteriores"; y en A1[20](200), donde es sustituida por la "fuerza" de "inercia" que ella misma provoca. Es en este Episodio donde JUC menciona este candidato causal por única vez:

- "Es la predisposición que tienen los cuerpos a seguir en estado de movimiento o reposo... Y que solamente si actúa una fuerza sobre ellos la varía" (...) "Sería algo contrario al movimiento, que se opondría al movimiento" (...) "Supongo que es algo así como... una fuerza... Actúa... Simplemente que no provoca movimiento en sentido contrario ni nada, igual que el rozamiento". (A1[20i](210)).

Son características que parecen reflejar un aprendizaje escolar del concepto poco asimilado en el sentido "científico" del término.

Pensamos que la facilidad y la frecuencia con que JUC recurre a la "masa" como candidato causal, puede justificarse con la interpretación de que está atribuyendo a la "masa" las características "escolares" mal asimiladas de la "inercia".

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

- El "*peso*" es un candidato causal probable que JUC sólo utiliza en el Sistema C, parte C. Aún en este Sistema su explicitación es tardía, y se hace para salvar la *correspondencia* y *coherencia* del modelo causal encargado de explicar la anulación en C'0 de la "fuerza" de subida. (Cfr. C'0[14i](440)). El "peso" como candidato causal, actúa con independencia de la "masa" y de la "gravedad" (C'0[14iii](440), C'0[G2i](470)), aunque su valor es "la masa por la gravedad". Su función es hacer "que el cuerpo se quedara pegado a la tierra" (C'0[14iv](460)), hacer "que el cuerpo baje" (C'0[G2i](470)). JUC considera que el "peso" *se puede descomponer*, para dar cuenta de la bajada del columpio, en C2[15](500), permitiendo la correspondencia y coherencia del modelo causal, y preservando los Principios de Condicionalidad y Productividad. Pero más adelante sustituye este candidato causal por otro (Cfr. C2[16](520)), ya que "el peso le hace ir hacia abajo y ya está". A partir de aquí no vuelve a mencionar este candidato causal hasta CO(F)[29](660), cuando parece que JUC enuncia un resumen de los candidatos causales probables que pueden actuar en el Sistema.

- Las "*fuerzas exteriores*" es un candidato causal probable que JUC introduce en sus modelos causales explicativos del comportamiento del Sistema en algunas ocasiones esporádicas. Su función es *disminuir* (A1[9](440)), o *anular* (C'0[14](440)) la acción de otros candidatos causales en el Sistema. JUC no tiene claro cuál es su naturaleza, aunque sí su función (Cfr. C'0[14i](440)). Lo interesante de que JUC mencione este candidato causal es que supone que la Topología que considera en los Sistemas *está abierta a los elementos del entorno*.

- "*Fuerza centrípeta*" y "*fuerza centrífuga*". Son candidatos causales que JUC explicita cuando explica el funcionamiento de la parte D del Sistema C. Son "candidatos" poco espontáneos y poco utilizados, que posiblemente representan el esfuerzo de JUC por incorporar a sus modelos causales elementos adquiridos en el aula. Su significación está poco clara, y su utilización muestra poca asimilación de lo "aprendido". Por ejemplo, la "*fuerza centrípeta*" sería tangente a la trayectoria, y sería la responsable de que los cuerpos salieran despedidos; mientras que la "*fuerza centrífuga*" iría dirigida hacia el centro de la circunferencia en un movimiento circular (D[3i](370)); ambas "*fuerzas*" intervendrían en que Zipi saliera disparado (D0[1](710)), estando en pugna, hasta que últimamente venciera a la fuerza centrípeta, que "si existe es gracias a esa [fuerza inicial]" (Cfr. D0[1i](710)).

- *Componentes de "fuerzas" y "movimientos"*. También, y sólo en relación a la parte D del Sistema C (si excluimos el intento, retirado después, del "peso") JUC utiliza "componentes" de "fuerzas" y "movimientos", como candidatos causales que explican el comportamiento del Sistema en distintos Episodios. Aquí también se observa el esfuerzo de JUC por introducir estos elementos de su "aprendizaje escolar" en los modelos causales explicativos. Así unas veces se refiere a "componentes" del "movimiento" (D0[G3](750), D1[5](760); otras a "componentes" de "fuerzas" (D'0[3](750), D'0[4](750), D'0[6](790)). Hasta que por último se relacionan componentes de "fuerzas" y "movimientos" para intentar explicar lo que sucede en el Episodio considerado (D2.1[8i](820)). No parece que JUC esté a gusto con estas explicaciones. De hecho las explicaciones en las que recurre a las estructuras de modelos causales donde no se utilizan "componentes" son absolutamente mayoritarias.

- El *aire*, elemento del entorno del Sistema, cuyas funciones se han especificado con anterioridad.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE JAE

JAE es espontáneo y habla con mucha soltura. Aunque reconoce que algunos de los movimientos ilustrados en los Comics los ha estudiado en clase, casi nunca utiliza vocabulario científico. Sus respuestas son seguras y rápidas, aunque no contesta sin pensar. El tono de la entrevista es relajado y agradable.

1. DIVISION EN EPISODIOS

JAE conceptualiza los Episodios de los diversos Sistemas de la manera siguiente:

-En el **Sistema A**: el Episodio **A0**, bola quieta sobre la tabla, implícito en un primer momento (**A0[1](010)**), y explícito más tarde (**A0[9](060)**); el **A1**, primero considerado como constituido por los Episodios **A1.1**, movimiento "más rápido" (**A1.1[11](060)**), y **A1.2**, en el que el movimiento disminuye (**A1.2[12](060)**); y el **A2**, movimiento de caída vertical con velocidad constante (**A2[17i](120)**, **[18](130)**). Los Episodios **A1.1** y **A1.2** se integran después en un sólo Episodio **A1**, como un movimiento retardado (**A1[13](070)**). Y el **A2** se modifica durante el proceso de análisis de **B2**, señalándose en el mismo un movimiento de caída con velocidad creciente.

-En el **Sistema B**: el Episodio **B0**, flecha quieta (**B0[1](180)**, **(B0[5](180))**); el **B1**, subida (**B1[2](180)**) con una fuerza mítica decreciente (**B1[11](210)**); el **B'0**, punto más alto de la trayectoria (**B'0[3](180)**), donde se pierde la "fuerza" de subida (**B'0[7](180)**), conceptualizado más tarde como un Episodio de transición, **B'0-B2**, en el que la flecha da una vuelta antes de empezar a caer (**B'0-B2[12](210)**); el **B2**, Episodio de caída (**B2[8](180)**) en el que distingue los Episodios **B2.1**, en el que cae con "menos fuerza" (**B2.1[21](330)**), y el **B2.2**, en el que cae con "la misma fuerza". Estos dos Episodios se integran últimamente en uno sólo, **B2**, en el que la velocidad crece (**B2[25](370)**, **[26i](400)**, etc.).

-En el **Sistema C**, **parte C**: el Episodio **C0** (**C0[3](460)**); el **C1**, en el que el columpio sube (**C1[4](470)**); el **C'0**, en el que se para, alcanzando el punto más alto (**C'0[5](470)**); el **C2**, en el que baja, siguiendo la misma trayectoria que en la subida (**C2[6](470)**); el **C''0**, en el que pasa por el punto inicial con una "fuerza" (**C''0[7](470)**); el **C'1**, subida simétrica al **C1** (**C'1[8](470)**); el **C'''0**, en el que vuelve a pararse (**C'''0[9](470)**); el **C'2**, en el que vuelve a bajar (**C'2[10](470)**); el **C0(F)**, en el que alcanza finalmente el reposo, después de varias oscilaciones (**C0(F)[11i](480)**).

-En el **Sistema C, parte D**: el Episodio **D0**, en el que Zipi sale disparado (D0[1](620)); el **D1**, en el que sube por el aire, perdiendo fuerza (D1[5](650)); el **D'0-D2**, de transición, en el que Zipi describe un arco antes de caer (D'0-D2[6](660)); el **D2**, de bajada vertical con fuerza creciente (D2[8](690)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

La utilización por parte de JAE de los Principios causales, al explicar el funcionamiento de los Sistemas en los distintos Episodios, expresa una concepción causal ontológica. En el Análisis hemos destacado los Principios causales en los que parece apoyarse preferentemente el razonamiento de JAE, al proporcionar explicaciones concretas.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

Del total de 60 ocasiones en que se han explicitado en el Análisis los modelos causales explicativos de los Episodios constituyentes de los diversos Sistemas, en 33 de ellas se ha destacado la utilización por parte de JAE de este Principio (Cfr., por ejemplo, A1[7i](040), A1.1[8](050), A1.2[12](060), A2[18](130), B1[15](250), B2[26iii](420), C2[18](550), C'1[23](600), C'2[28](610), D1[7](660), D2[8](690), etc). De éstas, 8 se explicitan antes de comenzar el proceso de teachback (Cfr. A[2](010), A[4](010), B1[2](180), B1[6](180), C[1](460), D[2](460), C1[4](470), D0[1](620)).

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

Destacado en el Análisis en un total de 27 ocasiones: A1[6](030), A2[17i](110), B1[16](260), B'0-B2[17iii](300), B2[26](390), C1[13](490), C2[17](520), C'1[26](600), D'0-D2[6](660), etc, de las cuales, sólo 4 son anteriores al proceso de teachback: B1[10](200), B1[11](210), C'0[7](470), C[11](480).

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

FAE utiliza con frecuencia el Principio de condicionalidad, explicitando *condiciones* para que la acción causal discurra en los distintos episodios del modo en que lo hace. De ellas se han destacado:

- *Condiciones estructurales*. Por ejemplo: en A2[17](110), el *final de la repisa* es condición para que "actúe" la gravedad en la caída; en C2[14](510), C2[16](530), C2[17iii](560), C2[18i](570), donde *las cuerdas* condicionan la trayectoria de la bajada; en D[1](620), donde *soltarse* es condición para que Zipi salga disparado.

- *Condiciones dinámico-estructurales*. Por ejemplo, la *altura* condiciona que se "coja" más *fuerza* (B2[25i](380), B2[26iii](420), C2[18i](550), C2[20](570), C2[21ii](590)); más *velocidad* (B2[20](380), B2[20i](380), B2[22i](420), B2[22iii] (430)); un *movimiento más fuerte* (C2[18i](550)); o que la gravedad sea "más directa" (B2[22](410)), o actúe "con más potencia" (B2[28](440)).

- *Condiciones dinámicas*. Por ejemplo: que el *impulso sea suficiente* condiciona que la bola ruede (A1[7i](040)); la magnitud de la *fuerza inicial* condiciona la altura que alcanza el material (B1[16i](280), C'2[29](610)); *perder fuerza* condiciona que la flecha caiga o gire (B'0[7](280), B'0-B2[17](290)), o que actúe la gravedad en la bajada del columpio (C'2[29](610)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

La utilización del Principio de Univocidad se ha destacado en el Análisis solamente en las explicaciones a Episodios en los que JAE, para conseguir que los modelos causales fueran correspondientes y coherentes, preservando este Principio, consideraba que un candidato causal dejaba de actuar, ya que cesaba el efecto de su acción en los valores del material. Son los casos B'0[7](180), B'0-B2[17i](300), C0(F)[11i](480), C'0[15](510), C'0[18i](560), C''0[27](610), D'0[2](640), D'0-D2[3i](640)). En todas ellas, la "fuerza" responsable del movimiento del material "se pierde", o "se acaba". Para conseguir lo cual, JAE tiene que recurrir a la Heurística Canónica. En otras explicaciones, la utilización de este Principio también es clara, aunque permanece implícito (Cfr., por ejemplo, A2[17ii](120), C'0[5](470), C''0[9](470), C''0[24](600)).

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

En el Análisis se ha destacado la utilización por parte de JAE de este Principio causal, únicamente en las explicaciones a Episodios donde se daría la confusión causa-efecto, si no mediara este Principio. Son los modelos explicativos a los Episodios C2[21i](580) y C2[21ii](590). En los dos casos, se trata de cadenas causales, en las que articulan candidatos causales reales y míticos, en las que la consideración de un tiempo mítico preserva la correspondencia y coherencia del modelo causal y el Principio de Asimetría.

3. LOCALIDAD

JAE utiliza con naturalidad y soltura la Localidad, de manera que en cada Episodio explicita los candidatos causales necesarios para que *localmente* los modelos causales explicativos sean correspondientes y coherentes. Como veremos más adelante, el recurso a

la Convención Amplia hace posible que JAE conserve la coherencia local sin desentenderse de la coherencia global en los modelos explicativos de los distintos Episodios en que considera dividido el comportamiento de cada Sistema. Por ejemplo:

- *La gravedad*, aunque definida por JAE como una "fuerza de atracción" que "actúa siempre" (Cfr. B1[16ii](280), B2[26](390)), en realidad está sujeta a restricciones en su actuación. Así, en los Episodios en los que los Sistemas están *parados* no "actúa" (Cfr. A0[1](010), A0[5](020), B0[1](180), B0[9](200), C0[3](460), C0[17ii](540), C0(F)[11i](480)); ni tampoco cuando el material *se mueve apoyado horizontalmente* (Cfr. A1[10](060), A1.1[11](060), A1.2[12](060), A1[13](070), etc); ni cuando se invierte el sentido de la trayectoria en el recorrido del material (Cfr. C'0[5](470), C'0[15](510), C''0[9](470), C''0[27](610)), etc.

- *El aire*, aunque JAE sabe que está en el entorno de todos los Sistemas estudiados, sólo lo incorpora a la topología del Sistema A, y sólomente en los Episodios donde no considera que exista otro candidato causal probable para explicar el comportamiento del Sistema de manera correspondiente y coherente, como sucede en A1[14](070) y A1[15](080).

- *El peso*, también se menciona *localmente* en una ocasión, para explicar por qué la flecha gira (Cfr. B'0-B2[17iv](300)), aunque obviamente JAE sabe que los cuerpos *pesan* siempre (sea el peso considerado como una "fuerza" o como un atributo del material, como parece que es el caso de JAE).

- La "*caída*", candidato causal mítico, que JAE explicita en los Episodios de bajada de los Sistemas B y C, parte C (Cfr. B2[25i](9380), C2[18i](550), etc), pero que no menciona en los Sistemas A y C, parte D.

4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

JAE utiliza en las explicaciones espontáneas de los tres Sistemas, A, B y C, modelos causales iniciales que presentan en su mayoría la estructura

1 causa - 1 efecto

(Cfr. B1[2](180), B1[10](200), C1[4](470), C'1[8](470), C''0[7](470), etc).

Sólo en una ocasión (A[4](010)) el modelo causal presenta una estructura de cadena causal simple



Y en otra (B1[11](210)) una estructura compleja, del tipo



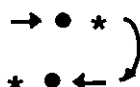
Superposiciones

En 5 ocasiones, de entre las 12 explicitadas, el modelo causal parece querer explicar toda la dinámica del Sistema de forma simplificada. De éstas, 4 presentan la estructura simple

1 causa - 1 efecto

(Cfr. A[2](010), C[1](460), C[11](480), D[2](460)).

La restante (A[4](010)), presenta la estructura en cadena anteriormente citada



ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

De un total de 48 explicitaciones de las estructuras de los modelos causales que JAE ofrece acerca de los distintos Episodios que considera en los tres Sistemas, A, B, y C, durante el proceso de teachback, 35 presentan la estructura simple

1 causa -> 1 efecto (Constancia)

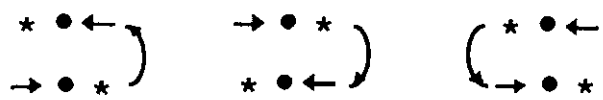
1 efecto <- 1 causa (Productividad)

Se observa, por lo tanto una tendencia a producir modelos causales simplificados de los Episodios, cuando estos modelos son en primera aproximación *correspondientes*. Como

veremos más adelante, esto no quiere decir que JAE no sea capaz de manejar estructuras causales más complejas.

Cadenas causales simples

En el Análisis se explicitan un total de 6 modelos causales que presentan estructuras de cadenas simples, del tipo



Corresponden a los Episodios C2[18i](550), C2[19](560), C2[21](570), D2[4](640), D2[8](690), B'0-B2[17i](300). En los cinco primeros se articulan candidatos causales reales y míticos, para conseguir que los modelos sean correspondientes y coherentes.

Estructuras causales complejas

Varias causas, un efecto

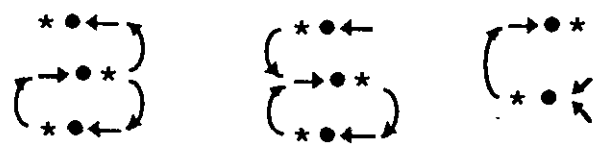
En 5 ocasiones JAE explicita la actuación de varias causas para producir un solo efecto. Son las explicaciones a los Episodios A1[15](080), B1[15](250), B1[16ii](280), C'1[26](600), D1[5](650), de estructuras



En todos los casos se articulan candidatos causales reales y míticos.

Cadenas causales complejas

En el Análisis se han explicitado 3 modelos causales que presentan estructuras de cadenas causales complejas, utilizados por JAE al explicar los Episodios C2[21i](580), C2[21ii](590) y D'0-D2[6](600). Las estructuras que presentan son respectivamente:



En los Episodios C2 se utiliza el Principio de Asimetría. En los tres se articulan candidatos causales reales y míticos.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

JAE utiliza tanto la *Convención Amplia* como la *Heurística Canónica* en las explicaciones que ofrece del funcionamiento de los tres Sistemas que estamos considerando.

CONVENCION AMPLIA

En las *explicaciones espontáneas*, JAE utiliza la Convención Amplia en todas sus explicaciones en relación a la actuación de la gravedad. Aunque conoce que está presente (Cfr. B2[16ii](280)), no considera su actuación en los Sistemas ni cuando están *en reposo* (A0[1](010), A0[3](010), B0[1](180), B0[5](180), C0[3](460), C0(F)[11i](480)) ni cuando están *moviéndose* (Cfr., por ejemplo, A[2](010), A[4](010), B1[2](180), B1[10](200), C[1](460), D[2](460), C1[4](470), C'1[8](470), etc). De tal manera que en los Episodios de bajada no se explicita el modelo causal en ninguno de los Sistemas A, B y C. En ningún caso se explicita la Convención.

Durante el *proceso de teachback*, JAE sigue utilizando la Convención Amplia en relación a la actuación de la gravedad en los Episodios en los que el Sistema está *parado* y cuando se mueve apoyado *horizontalmente* (Cfr. aquí lo dicho al comenzar el apartado de Localidad). Tampoco "actúa" en los Episodios D0 (Cfr. D0[1](620)) ni en los C1 de subida del columpio (Cfr. C1[13](490), C1[14](500)).

En algún caso, JAE es bastante explícito en la utilización de esta Convención. Por ejemplo:

* JAE está explicando que en la subida de la flecha la gravedad le hace "perder fuerza". Sin embargo, el punto más alto, parece que utiliza la Heurística Canónica en relación a esta fuerza, y no es la gravedad la responsable de que la "fuerza" que mantiene el movimiento llegue a ser cero. Es decir, en el punto más alto, aunque "esté" la gravedad, no "actúa":

ENT.- "Bueno, llega a 3. ¿Qué ha pasado con la gravedad? ...Porque tú me has hablado de dos casos: de la gravedad y de la fuerza que está actuando en 1 y en 2. El 3 es el punto en que empieza a girar para abajo.

JAE.- Claro, porque la fuerza ya no... no tiene suficiente fuerza.

ENT.- La fuerza. ¿Te refieres a...

JAE.- A la que le hemos dado

(...)

ENT.- Vale. Pero en 3... A esa fuerza, ¿qué le ha pasado?

JAE.- Pues que ha disminuido bastante... Ya se ha perdido la fuerza.

ENT.- Se ha perdido... Y... ¿Y la gravedad?

JAE.- La gravedad lo atrae hacia abajo"

(Cfr. B'0-B2[17](290), [17i](300), [17ii](300)).

* JAE está haciendo la representación gráfica de la trayectoria de Zipi después de salir disparado del columpio. Y señala el punto donde ésta gira. Hasta después del giro, no empieza a "actuar" la gravedad; aunque JAE reconoce que actúa siempre:

ENT.- "Vale, está bien ahí... ¿Donde empieza a bajar entonces?, ¿En 2?

JAE.- En... En 3... En 2 estaba... ya perdía la fuerza... Y en 3 ya actúa la gravedad.

ENT.- ¿Pasaría como aquí, ...entonces? [alusión a B'0-B2].

JAE.- Sí, lo mismo.

ENT.- Aha... En 2 se pierde la fuerza... y en 3 empieza a actuar la gravedad... ¿Empieza a actuar, o...?

JAE.- No, ya estaba actuando antes... O sea, que la gravedad actuaba siempre. Y cuándo en 2 pierde la fuerza... empieza a bajar hacia abajo".

(Cfr. D'0-D2[2](640), [3](640), [3i](640)).

En cuanto a la utilización por parte de JAE de la Convención Amplia en relación a los otros candidatos causales, veanse los comentarios apuntados en el apartado de Localidad.

HEURISTICA CANONICA

Al explicar *espontáneamente* el funcionamiento de los Sistemas, JAE utiliza la Heurística Canónica cuando la necesidad de que el modelo causal sea *correspondiente* implica que se "acaben" o se "pierdan" determinados candidatos causales o atributos de los materiales. Son los casos de los Episodios B'0[7](180) y C0(F)[11i](480), donde la "fuerza" (mítica) "se pierde" o "se acaba"; y los casos C'0[5](470) y C""0[9](470), donde el movimiento desaparece: el Sistema simplemente "se para".

Durante el proceso de teachback, también es la necesidad de *correspondencia* en el modelo causal construido el que hace que JAE utilice la Heurística Canónica. Ahora en todos los casos se especifica que la "fuerza" (mítica), "ha disminuido", "se termina", se "pierde" (B'0[17i](300), C""0[27](610), D'0-D2[2](640), D'0-D2[3i](640)), excepto en el A2[17i](120), donde ni siquiera se menciona.

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

De las manifestaciones de JAE parece deducirse fácilmente que su prototipo de candidato causal es un "empuje", (A1[6i](030)), "empujar" (C1[12i](480)), en definitiva, una "fuerza" (B1[15i](250)), ya que el "impulso" o "empuje" es "una fuerza" (Cfr. A1[7i](040), A1.1[8](050), etc.).

El *prototipo de "efecto"* no aparece explicitado por JAE. Pero se puede deducir con facilidad analizando su repetido uso de la Convención Amplia: si un agente causal, aunque esté presente (B0[1](180), *hombre*; B0[6](200), *muelle*) no produce en el Sistema un *cambio dinámico perceptible*, no se considera como tal.

Esta concepción prototípica no agota el concepto de "causa" y "efecto" que maneja JAE. Pero sí influirá a la hora de elegir *candidatos causales más probables*: recurrirá en primer lugar a candidatos causales dinámicos. De hecho JAE utiliza con frecuencia mínima candidatos causales estructurales.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontáneas

Candidatos causales dinámicos

Los candidatos causales que JAE utiliza con *espontaneidad* al explicar el funcionamiento de los Sistemas A, B, y C, son, en primer lugar, las "fuerzas" o "empujes" que accionan en los Sistemas por medio de agentes exteriores: *ratones* (A[2](010), A[4](010)); *hombre* (B1[2](180)); *hermano* (C[1](460), D[2](460)). Utiliza también *candidatos causales míticos*, generados por los citados anteriormente, que se encargan de mantener el movimiento de los Sistemas. Son los "impulsos" que llevan los materiales y que explican su comportamiento (B1[6](180), B1[10](200), C1[4](470)). Por último hay otros candidatos causales, necesarios para mantener la *correspondencia* del modelo causal construido. Son la "deceleración", que explica que la flecha pierda "fuerza" al subir (B1[11](210)); la "caída", que explica que el columpio "coja fuerza" al descender (C"0[7](470)); y la "fuerza de subida", originada en la "fuerza de caída", que explica que el columpio siga subiendo, después de bajar y pasar por la posición primera (C'1[8](470)).

Llama la atención que en ningún Sistema se cite la *gravedad* como candidato causal probable en las explicaciones espontáneas. Quizá esto complique la construcción de JAE,

que se ve obligado a recurrir a causas míticas, aumentando así el número de candidatos causales probables. Tampoco en ningún caso explica espontáneamente los Episodios de caída (A2, B2, D2), quizá por la dificultad de dar con ese candidato causal probable que le simplificase el problema.

Candidatos causales estructurales

JAE cita *elementos estructurales* de los tres Sistemas: *repisa* (A[2](010), A[4](010)); *escoba* (A[4](010)); *arco* (B1[6](180)); *columpio* (C0[1](460), C0[3](460)). Estos son considerados como CONDUCTOS o soportes de la acción causal.

En dos ocasiones, estos elementos estructurales juegan un papel de *agentes causales dinámicos*, para lo cual JAE describe una modificación en la topología del sistema: un *muelle comprimido*, que haría el papel del hombre que maneja el arco tensado para lanzar la flecha del Sistema B (B0[9](200), B1[10](200)). En una ocasión, el elemento estructural se cita porque *condiciona* la acción causal: "soltarse" es condición para que Zipi' salga disparado (D0[1](620)).

Se podría, pues, decir, que los modelos causales iniciales se construyen fundamentalmente con *agentes causales dinámicos*. Los elementos estructurales se mencionan como *condicionantes* del camino que sigue la acción causal (repisa y soltarse).

El *aire* se cita espontáneamente como un elemento del entorno del Sistema B, pero sin jugar ningún papel en el mismo (B1[10](200)). Aparece pues, como un candidato causal disponible.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

Entre las 103 explicaciones que JAE ofrece sobre los distintos Episodios de los tres Sistemas, en 18 de ellas se citan expresamente elementos estructurales: 8 referidas al Sistema A; 1 al Sistema B; 8 al Sistema C, parte C; y 1 al Sistema C, parte D.

En el caso del Sistema A, JAE cita la pelota *redonda* (A1[6](030)); la repisa en *cuesta* (A1.2[8i](050)), u *horizontal* (A1[10i](060)), o el *final* de la misma (A2[17](110)); una *mano*, como alternativa a la escoba (A1[6i](030)); y el *aire* (A1[14](070)), (A1[15](080)) u *objetos* (A1[6](030)), que producen "frenado" al material del Sistema.

En el caso relativo al Sistema B, cita el *arco* como un CONDUCTO que transmite la "fuerza del hombre" (B1[9i](250)).

En los casos relativos al Sistema C, parte C, excepto en el C1[12i](480), en el que se cita un palo como posible *conducto* para transmitir el "empuje" del hermano, en todos ellos se citan las *cuerdas* como un elemento que *condiciona* la trayectoria del columpio (C2[16](510), C2[17](520), C2[17ii](540), C2[19i](560), C2[20i](570), C2[21i](580)). Llama la atención que esta *condición* se explicita tan repetidamente en las *bajadas* del columpio. Son los Episodios cuya conceptualización causal ha resultado más difícil de articular a JAE.

En el caso relativo al Sistema C, parte D, de nuevo se cita "soltarse" como una *condición* estructural para que Zipi sea lanzado al aire (D0[1](620)).

En todos los casos, los elementos estructurales se utilizan como condicionantes o soportes de la acción causal, es decir, son considerados como CONDUCTOS. Unicamente el *aire*, o un *objeto*, se consideran como COMPONENTES, es decir como elementos estructurales que modifican los valores del material en el Sistema A, al producirle "frenado". Y éstos elementos estructurales son del entorno del Sistema.

i) El "frenado"

El "frenado" o "frenamiento" es un candidato causal probable de naturaleza estructural, que se origina en elementos del entorno del Sistema A, el *aire* u *objetos* (A1[14](070), A1[15](080), A1[16](090)).

Funciones del frenado

El "frenado" es un candidato causal que sólo se explicita en el Sistema cuando JAE se da cuenta de que su modelo causal explicativo del Episodio, aunque es correspondiente y coherente (A1[13](070): la caída disminuye y la "fuerza" disminuye) presenta ambigüedades (no explica por qué disminuye la "fuerza"). Para explicar la disminución de la "fuerza" y por tanto de la velocidad, JAE recurre al "frenado" que causa en el material la existencia del aire o de objetos en el entorno del Sistema.

La utilización de este candidato causal es expresiva de hasta que punto los sujetos se resisten a utilizar como candidatos causales probables a los elementos estructurales de los Sistemas, como puede verse en el siguiente diálogo:

* JAE acaba de decir que la "fuerza" y la velocidad disminuyen a lo largo de la repisa (A1[13](070)). El teachback prosigue de la siguiente manera:

ENT.- "...Tú crees que hay más casos que intervengan en ese movimiento, de 1 a 3?

JAE.- ¿Aquí, en horizontal?

ENT.- Sí.

JAЕ.- Pues...

[Pausa]

Según ... el aire que haga de... de frenamiento, vamos, ... O sea, lo contrario a la aceleración... como lleva más... pues se va frenando.

ENT.- Aha... Tú crees que de 1 a 3...

JAЕ.- [interrumpe] Claro que sí

ENT.- ... hay algo, que tú dices que es el aire,...

JAЕ.- [interrumpe] Que lo hace frenar

ENT.- La deceleración

(...)

ENT.- "...¿Habrá otras cosas que hagan el mismo efecto por el aire? ...¿tú te imaginas que puede haber otras cosas... que puedan servir para frenar?

JAЕ.- Objetos.

ENT.- Un objeto...

JAЕ.- Que se interpongan"

(A1[15](080), A1[16](090)).

A pesar de las posibilidades que ENT ofrece para la reconstrucción del modelo causal, JAЕ sigue prefiriendo modificar la topología del Sistema, incluyendo en ella a elementos del entorno, antes que considerando como candidatos causales estructurales a los elementos del Sistema.

Candidatos causales dinámicos

Una vez puestos en funcionamiento los Sistemas por la acción de un agente causal exterior (*ratones, hombre, hermano*), la evolución que siguen se explica por la intervención de candidatos causales responsables del comportamiento de los materiales en los mismos. Además de la "fuerza suministrada", que no comentamos, destacamos los siguientes:

i) "La gravedad", g

La "gravedad" (siempre llamada así por JAЕ), es "el centro de la tierra [que] atrae a los cuerpos hacia sí... de la tierra o cualquier... [planeta], por ejemplo de la Luna. Sólo que en la Luna hay menos gravedad" (A2[18iii](170)). "La gravedad atrae hacia abajo" (B1[16](260)), "actúa siempre y hace bajar [a los cuerpos]" (B1[16i](280), D'0-D2[3i](640)). La gravedad es siempre "la misma" (A2[18](130), A2[18i](140), B2[26i](380), B2[26iv](420), C2[19ii](560)).

JAE se refiere a la gravedad como a una "fuerza de atracción" (B2[26](390)), y le atribuye características propias de esta magnitud: hacer "caer" o "bajar" a los cuerpos (A2[17](110), B'0-B2[17iii](300), C2[8](520), C2[18](550), C2[21i](580), C'2[28](610), D'0-D2[3i](640), D2[4](650), etc.); hacerles "perder fuerza" (B1[16](260), B1[16i](280), C'1[26](600), D1[5](650)), cuando su dirección no coincide con la del movimiento; y actuar junto con otras "fuerzas", como la "fuerza inicial" que lleva el material en su desplazamiento (B1[16i](280), C'1[26](600), D1[5](650)).

JAE afirma que ya "había comprobado" la existencia de la gravedad ("algo" que hacia caer a los cuerpos), antes de que se lo explicase el profesor. Pero:

-... "Yo ya al saber lo que era la gravedad, pues yo ya lo comprobé". (Cfr. A2[18ii](150))

Funciones de g

Cuando el Sistema está en reposo, g no "actúa". Ni siquiera se menciona explícitamente en estos Episodios (Cfr. A0[1](010), B[1](180), C[1](460), A0[9](060), C0(F)[11i](480), D0[1](620), etc). Esto puede interpretarse como que JAE, aunque conozca su existencia en esos Episodios, *no la considera un candidato causal probable más que cuando produce efectos dinámicos observables*. De ahí que tampoco considere su "actuación" en las distintas explicaciones al Episodio A1.

Cuando el Sistema está en movimiento, g no se explicita hasta que es *necesario* para dar cuenta del comportamiento del sistema, y salvar la *correspondencia* del modelo causal construido para explicarlo.

Llama la atención que en las *explicaciones espontáneas* a los tres sistemas, JAE nunca mencione g , incluso cuando en B tiene que inventarse un candidato causal (la "desaceleración") para dar cuenta de la "pérdida de fuerza" que experimenta la flecha mientras sube (Cfr. B1[8](210)), para salvar la *correspondencia* del modelo.

También es notable que aunque g se explicita en el Episodio A2, como causante de la velocidad de caída de la bola (A2[18](130), A2[18i](140)), ya no se menciona como responsable de los valores de los atributos del material en los Episodios B2, C2, D2 ("aumento de velocidad", "mayor movimiento", "aumento de fuerza") sino únicamente como responsable de "hacer bajar", o "caer" la flecha, el columpio, o Zipi (Cfr. B2[26i](400), B2[26iv](420), B2[28i](450), C2[8](520), C2[18](550), C2[21](570), C2[21ii](590), D2[4](650), D2[8](670)). Esto puede ser debido a que JAE cree que una *causa constante produce un efecto constante*. Como la g es constante ("es la misma"), no puede ser la causante de un *efecto variable* (cambio de velocidad, de "fuerza", de movimiento).

En los Episodios de "subidas" (B1, C1, C'1, D1) la acción de g está parcialmente explicitada. Por ejemplo, en C1 no se explicita nunca; en C'1 se explicita una vez (C'1[25](600)); en D1 dos veces (D1[5](650), D1[7](660)); en B1 dos veces (B1[16](260), B1[16ii](280)). A pesar de todo, puede decirse que el modelo de actuación de g en la subida es robusto, y su acción causal consiste en hacer que el material "pierda fuerza" mientras va subiendo, preservando de esta manera la *correspondencia* del Sistema.

Representación gráfica de g

JAE representa gráficamente la actuación de g únicamente en el Sistema C, en el Episodio C2[17](530), con una flecha vertical hacia abajo, en los puntos donde el sistema claramente "cae"; pero no la representa en puntos críticos, como C'0 o C"0, lo cual es coherente con el uso general que JAE hace de g como candidato causal en este Sistema.

Componentes de g

JAE no considera componentes en g.

ii) Caída

La "*caída*" es un candidato causal dinámico de naturaleza mítica, al que JAE recurre en los Episodios que considera necesario para preservar la *correspondencia* de los modelos causales explicativos del comportamiento de los Sistemas en tales Episodios.

El recurso a esta causa mítica es necesario para dar cuenta de un efecto ostensible de los Episodios de *caída* o de *bajada* de los Sistemas: el aumento de "velocidad", de "fuerza" o de "movimiento". Como comentábamos anteriormente, g, por ser constante, no era un candidato causal probable para explicar este fenómeno. Y JAE recurre a una *causa mítica*, no nombrada por JAE como tal, aunque sí explicitada por los atributos de los que depende (altura, tiempo de recorrido) a la que hemos llamado "caída".

Funciones de la "caída"

La función de este candidato causal es, pues, preservar el principio de Productividad (*no hay efectos sin causa*), explicando la variación de los atributos del material en los Episodios de los Sistemas donde hay caídas o bajadas. Y a este recurso le obliga la creencia de JAE de que una *causa constante produce un efecto constante*; por lo que g, al ser "siempre la misma" (B2[26iv](420)), queda excluida como candidato causal probable.

Origen de la "caída"

La construcción de este candidato causal es progresiva a lo largo de la entrevista, y ya es manejado con soltura al final de la misma. Puede presentarse como un caso típico de "aprendizaje" realizado durante el proceso de teachback.

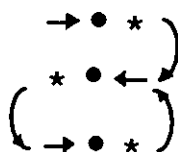
El recurso a este candidato causal mítico es relativamente tardío, a mitad de la entrevista, cuando JAE descubre que su modelo causal para la caída en el Episodio A2[18i](140) no es *correspondiente* y se ve necesitado de una reconstrucción. Entonces empieza a describir un candidato causal que tiene las características de una "caída" (Cfr. B2[25i](380), B2[25ii](380), B2[26](390)). En estos primeros momentos, su efecto es aumentar la "fuerza de la caída". En un segundo momento (B2[26i](420), B2[26ii](420), B2[26iv](430)), su efecto es aumentar la velocidad. Pero no se explicita cuál es el origen del candidato causal "caída". Simplemente se expresan los efectos indicados como demostrativos de su existencia, recurriendo a su propia experiencia:

- "...Yo cuando tiro una cosa, por ejemplo, veo que cuanto más abajo, pues va más rápido" (B2[28i](440)).

Más adelante, se relacionan los dos efectos anteriores, expresándose el efecto de la caída como una *cadena causal* en la que la "caída" hace que el material "coja más fuerza", y esta "fuerza" hace que aumente la velocidad (Cfr. C2[18i](550), C2[19](560)).

Por último, se articula otra cadena causal que conecta la acción de la gravedad con la "caída", siendo la primera causa de la segunda: la gravedad provoca la "caída" y la "caída" hace que aumente la "fuerza que coge" el material al caer (C2[21](570)).

La conjunción de las dos cadenas causales simples anteriores da lugar a la construcción de cadenas *causales compuestas*, en que se articulan todas las "causas" con todos los "efectos", en un modelo para la caída que se mantiene robusto hasta el final de la entrevista. El modelo expresa que la gravedad causa la "caída", la "caída" causa el "aumento de fuerza", y el "aumento de fuerza" causa mayor velocidad en la caída. La estructura resultante se cierra en un bucle, con una clara confusión causa-efecto, que sólo se salva por la utilización del Principio de Asimetría:



(Cfr. Episodios C2[21i](580) y [21ii](590)). JAE no percibe esta confusión, debido a que mantiene en su modelo causal el Principio de Asimetría, con la introducción de un *tiempo mítico* en la sucesión de los fenómenos.

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

- La "*desaceleración*" es un candidato causal que JAE utiliza las primeras veces que da cuenta del cambio de atributo ("llevar menos fuerza") que experimenta el material (flecha) a medida que sube (B1[11](210), B1[15](250)). Lo necesita para preservar el principio causal de Productividad y que el modelo causal sea *correspondiente*. Más adelante, este candidato causal será sustituido por un candidato causal más probable, la "gravedad", que producirá el mismo efecto.

- La "*gravedad más directa*" o "*potencia*" de la gravedad, es otro candidato causal probable, de naturaleza mítica, al que JAE recurre para explicar el aumento de "velocidad" o de "movimiento" que experimenta el material en las "caídas" o "bajadas" (B2[26ii](410), B2[26iii](420), B2[28](430), B2[28i](440)). Lo necesita para preservar el principio causal de Productividad y que el modelo causal sea *correspondiente*. Será sustituido por un candidato causal más probable, la "caída", que producirá el mismo efecto (Cfr. Episodios correspondientes del Sistema C).

- *Tabla inclinada*. JAE representa el Episodio A1 del Sistema A, en primer lugar, con una tabla inclinada. Quizá la "inclinación" de la tabla era una *condición estructural* para que actuase algún candidato causal dinámico, que luego no expresa, posiblemente por no considerarlo necesario.

- El *peso*, mencionado en una sola ocasión (B'0-B2[17iv](300)), y que más parece un atributo del material que un candidato causal probable.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE SOE

SOE se expresa con dificultad. Los modelos causales explicativos de los Episodios incorporan sólo los candidatos causales imprescindibles y raramente presentan estructuras complejas. No utiliza terminología científica en ningún caso, ni utiliza conceptos "aprendidos en clase" en ninguna explicación. En relación al Sistema C, la dificultad de explicitación de su pensamiento causal espontáneo es aún mayor, sobre todo en relación a la parte C del Sistema. El tono de la entrevista es relajado y pausado. Es notable su "aprendizaje" basado en analogías causales explícitas.

1. DIVISION EN EPISODIOS

SOE diferencia en el comportamiento de los Sistemas estudiados los siguientes Episodios:

- **Sistema A:** A0, explícito desde el primer momento [A0[1](010)); A1, movimiento horizontal mantenido por una "fuerza" mítica (A1[4](010), A1[7](070)); A2, movimiento de caída-vertical, provocado por la "fuerza de la gravedad" (A2[G5](100), A2[9](110)).
- **Sistema B:** B0, explícito desde el principio (B0[1](200)); B1, movimiento de subida vertical mantenido por un "impulso" mítico (B1[7](230)), en el que actúa también la "fuerza de la gravedad" (B1[17i](330)); B'0, en el que "se acaba el impulso" y la flecha empieza a bajar (B'0[3](200), B'0[10](260)); B2, en el que la flecha cae verticalmente, por la actuación de la "fuerza de la gravedad" (B2[4](200), B2[11](270)).
- **Sistema C, parte C:** C0, que primero permanece implícito (C0[3](400)) y después se explicita (C0[13](470)); C1, que primero se explicita como un movimiento creciente, sostenido por un "impulso" decreciente (C1[9](430)), y que más adelante se considera como constituido por los Episodios C1.1, de movimiento creciente sostenido por un impulso creciente; y C1.2, donde "impulso" y movimiento de subida decrecen (C1.1 y C1.2[10](440)); C'0, donde termina el "impulso" de subida (C'0[5](400)); C2, movimiento de bajada, que comienza porque la "cuerda" del columpio no da más de sí (C2[14](470)), pero cuyo modelo causal permanece implícito; C'1, movimiento de subida, en el que también el modelo causal permanece implícito (C'1[16](500)); C0(F), en el que el columpio llega a pararse después de un cierto tiempo (C0(F)[7](400)). C''0, C'''0 y C'2 permanecen implícitos (Cfr. C[G3](380)).

- **Sistema C, parte D: D0**, en el que Zipi sale disparado, impulsado por la "fuerza" de su hermano (D0[1](540)); **D1**, movimiento horizontal, sostenido por el "empujón" del hermano (D1[3](550)); **D'0**, en que Zipi empieza a caer porque el movimiento "pierde fuerza" (D'0[4](560)); **D2**, primero descrito como un movimiento de bajada de trayectoria inclinada, sostenido por la fuerza de la gravedad (D2[5](570)); que más adelante se explicita como constituido por dos Episodios, el **D2.1** de trayectoria inclinada; y el **D2.2**, de trayectoria vertical; ambos sostenidos por la fuerza de la gravedad (D2.1 y D2.2[G2](610)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

SOE utiliza en sus explicaciones los Principios Causales característicos de una concepción causal ontológica. En el análisis hemos destacado en cada Episodio los que parecían destacar en la explicitación del razonamiento explicativo. Los resultados son los que exponemos a continuación.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

Del total de 28 modelos causales explicitados en el análisis, 9 fueron contruidos por SOE utilizando destacadamente este Principio: 3 de ellas, antes de comenzar el teachback (A[2](010), B1[2](200) y C1 y D[2](360)); y las 6 restantes durante el proceso de teachaback (B2[17](330); B[17ii](340), C1[9](430), C1.1[10](440), D1[6](570) y D1[6i](580)).

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

En el análisis se ha destacado la utilización de SOE del Principio de Productividad en 19 ocasiones: A1[4](010), A1[5](040), A2[9](110), A2[12](160); B1[6](220), B1[7](730), B2[11](270), B2[16](270); C1.2[10](440), C2[12](460); D0[2](540), D1[3](550), D2[5](570)), etc. De estas, sólo una vez lo utiliza antes de empezar el proceso de teachback (C1[4](400)). En algunas ocasiones SOE es muy explícita en la utilización del Principio. Por ejemplo, cuando explica el movimiento de la bola sobre la repisa, SOE argumenta:

- "Hay algo que hace que la pelota se mueva" (...) porque para moverse necesita... que algo le dé un golpe, o que algo le atraiga". (Cfr. A[7](060)).

Dada la dificultad de SOE para explicitar su pensamiento causal, el Principio de Productividad (perdir que explicase por qué los valores de los atributos de los materiales eran los que eran) ha sido el más utilizado en el teachback, y la necesidad de su salvaguarda el que más ha estimulado a SOE a expresarse.

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

El Principio de Condicionalidad es utilizado por SOE en los Episodios en los que enuncia condiciones para que la acción causal se lleve a cabo de una forma determinada. Se pueden distinguir las siguientes:

- *Condiciones estructurales*: Así, que la bola sea *redonda* y la *repisa horizontal* condicionan el movimiento de la bola (A1[5](040)); que la *bola* fuera *de hierro* condicionaría que fuera atraída por un imán (A1[9](110)); el *final de la repisa* es condición para que empiece a actuar la fuerza de la gravedad y la bola caiga (A2[9](110), A2[14](180)); y la *repisa* impide que actúe la fuerza de la gravedad en el Episodio A1 (A1[18](340)).
- *Condiciones dinámico-estructurales*: Así, que la *flecha no le dé al pato*, o no dé en el blanco, es condición para que la flecha empiece a caer (B'0[3](200), B2[4](200), B2[12](270)); y las *cuerdas* y que el *impulso sea menor* condición que el columpio no llegue más alto (C'0[11](450)).
- *Condiciones dinámicas*: Así, que el *impulso acabe* o que *se pierda fuerza*, es condición para que caiga la flecha (B2[11](270)), vuelva el columpio (C2[6](400)), o Zipi empiece a bajar cuando está por el aire (D'0[4](560)); y *que exista un impulso* condiciona la actuación de la fuerza de la gravedad (D1[9](620)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

Se ha destacado la utilización por parte de SOE de este Principio en los Episodios A1[6](050), A1[8i](090), A2[10](140); B'0[10](260); C'0[5](400), C0(F)[7](400), C0(F)[7i](400); D'0[4](560). Todos ellos corresponden a situaciones en las que para conseguir que el modelo causal que explica el Episodio sea correspondiente, un atributo del material debe anularse. Como SOE en estos Episodios no ha explicitado ningún mecanismo por el que ésto se lleve a efecto, el único modo de conseguirlo, preservando el Principio de Univocidad, es considerar en el modelo que "desaparece" el candidato cuasal responsable de que existiese dicho atributo. Para esto, SOE recurre a la Heurística Canónica, como veremos más adelante. En una ocasión, SOE utiliza positivamente este Principio para construir movimientos análogos al que se considera en el Sistema que esta explicando. Así, al pedirle que citase algún movimiento parecido al del Sistema B, SOE explicita:

- "¡Sí, claro, en mi vida he visto bastantes! (...) Cualquier cosa que se tirase para arriba con un cierto impulso" (Cfr. B[8](240)).

Es decir, si la causa fuera la misma, el efecto sería el mismo (Principio de Univocidad).

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

El Principio de Asimetría es salvaguardado en todos los modelos causales explicitados por SOE. En el análisis no se ha señalado, por no ser el más predominante en ningún Episodio.

3. LOCALIDAD

SOE recurre con espontaneidad y flexibilidad a la Localidad al explicar el comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios. De manera que los candidatos causales van siendo introducidos localmente en los modelos explicativos a medida en que son necesarios para que dichos modelos sean correspondientes y coherentes.

Resulta notable, por ejemplo, el uso que hace de la "fuerza de la gravedad" en los distintos Sistemas. Así, aunque SOE explicita que "la fuerza de la gravedad está actuando siempre" (D1[9](620)), en realidad sólo "actúa" en los Episodios de bajada de los distintos Sistemas, cuando el material no está apoyado o suspendido. Así, en el Sistema C, parte C, ni si quiera se menciona; en el Sistema A, en el Episodio A1, se explicita que "actúa", pero que "es como si no estuviera actuando" (A1[18](340)); en el Sistema C, parte D, en el Episodio D1 tampoco "actúa", porque "quedaba como desplazada" (D1[9](620)). Sólo hay una excepción a esta concepción, fruto del aprendizaje de SOE: al principio, en el Episodio B1 del Sistema B, considera que la fuerza de la gravedad no actúa (Cfr. B1[2](200), [6](220), [7](230), [9](260)); pero más adelante, al explicitar que el movimiento disminuía en la subida, tiene necesidad de un candidato causal probable que explique ésta disminución, para que el modelo causal sea correspondiente y coherente. Lo consigue explicitando en este Episodio la actuación de la fuerza de la gravedad (Cfr. B1[17](320), [17i](330) y [17ii](340)).

Otro candidato causal que actúa localmente es el que hemos denominado "elástico". Lo explicita SOE en los Episodios en que el columpio debe invertir la trayectoria, después de haber alcanzado el punto de subida máximo en C2, es decir en el Episodio C'0. Este candidato causal se introduce para conseguir la correspondencia en este Episodio y explicar causalmente por qué el columpio inicia la vuelta atrás (Cfr. C2[12](460), C2[14](470)). Sin embargo, este candidato causal no actúa en las bajadas y subidas subsiguientes del columpio (Cfr. C2[15](490), C'1[16](500)), ni cuando el columpio está parado (C0[13](470)).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

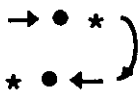
ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

Los modelos causales iniciales, explicitados por SOE antes del proceso de teachback, presentan la estructura simple

1 causa - 1 efecto

Cfr. A1[2](010), B1[2](200), C1[4](400)

Solamente en una ocasión explicita una cadena causal, también de estructura simple:



Es la explicación al Episodio C1 y D[2](360).

Superposiciones

Como se comprueba más tarde en el proceso de Teachback, algunas de las explicitaciones de modelos causales iniciales no son sino simplificaciones de una conceptualización más compleja del comportamiento de los distintos Sistemas. Son los casos A[2](010) y C1 y D[2](360), que se explicitan más adelante como constituidos por diversos Episodios y diversos modelos causales explicativos, Cfr., por ejemplo, A1[4](010), A2[9](110), C1.1[10](440), C1.2[10](440), D0[2](540), D1[3](550), D2[5](570).

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

De las 24 ocasiones en que se ha explicitado en el análisis la estructura causal de los modelos que SOE ha utilizado durante el teachback para explicar los distintos Episodios, 23 presentan la estructura simple.

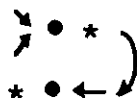
1 causa -> 1 efecto (Constancia)

1 efecto <- 1 causa (Productividad)

Puede pues decirse que la práctica totalidad de los modelos causales explicitados por SOE presentan esta estructura.

Estructuras causales complejas

Sólo en una ocasión, al explicar el Episodio B1, SOE construye una síntesis causal del funcionamiento del Sistema B, explicitando un modelo (Cfr. B[17ii](340), que presenta la estructura



Esto no quiere decir que implícitamente en alguna otra ocasión no maneje estructuras complejas, como es el caso de los Episodios B1[17](320) y B1[17i](330), donde las expresiones de SOE permiten suponer que ya estaba manejando mentalmente la primera parte de la cadena causal anterior, pero que no se explicitan en el análisis por coherencia con los criterios establecidos para ello.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

Tanto la *Convención Amplia* como la *Heurística Canónica* son utilizadas por SOE a lo largo de sus explicaciones del funcionamiento de los Sistemas. En el análisis se han señalado algunas explicaciones a Episodios donde esta utilización aparece clara, y que señalamos a continuación.

CONVENCION AMPLIA

En las *explicaciones espontáneas*, SOE utiliza la Convención Amplia cuando el Sistema está en *reposo*. Por ejemplo, A0[1](010), B0[1](200), C0[3](400). Cuando el Sistema está en *movimiento* también la utiliza (Cfr. A[2](010), B1[2](200)). Pero en todos estos casos SOE no explicita esta utilización. Para ello habrá que esperar al proceso de aprendizaje que se llevara a cabo en el *teachback*.

En el *proceso de teachback*, efectivamente, SOE no sólo utiliza la Convención Amplia (Cfr. A0[3](010), B0[5](220), D0[2](540)), sino que la explicita en repetidas ocasiones. Por ejemplo:

* SOE está explicando la actuación de la fuerza de la gravedad en la bajada. Se expresa así:

- "[al bajar] es menor que en B y mayor que en A... Bueno, no, ... es igual, ... es igual. En A ya no hay [situación de reposo de la fecha en el suelo], ... pero en B y D es igual: (B2 y B0[13i](290)).

* SOE acaba de explicar cómo la fuerza de la gravedad "actúa" en "todo" el Sistema B. ENT le pregunta si también actúa en todo el Sistema A. La respuesta de SOE:

- "Está actuando también aquí [Episodios A0 y A1]. Pero como está la tabla, pues no... no se nota. Es como si no estuviera actuando". (A0 y A1[18](340)).

* Para explicar que el columpio "vuelve atrás" al comienzo del Episodio C2, SOE ha recurrido a un candidato causal místico estructural, las cuerdas ("elástico"). ENT pregunta si este candidato causal también actúa cuando el columpio está parado. SOE contesta:

- "[No actúa porque] es que aquí no ha recibido ningún impulso". (Cfr. C0[13i](470)).

* Al referirse al funcionamiento del Sistema C, partes C y D, SOE afirma que "la fuerza de la gravedad está actuando siempre" (C y D[9](620)). Pero inmediatamente antes, ha afirmado que en el Episodio D1 sólo actúa un "impulso" que hace moverse a Zipi (Cfr. D[3](550) y ss.). ENT pide que explique su omisión y SOE responde:

- "Porque... aquí, con el impulso que llevaba... el cuerpo, pues no... la fuerza de la gravedad quedaba como desplazada, o sea, no actuaba bien". (D1[9](620)).

La utilización de la Convención Amplia está muy relacionada con el uso de la Localidad. Es la conjunción de ambos aspectos lo que hace que los modelos causales en determinados Episodios conserven su correspondencia y coherencia.

HEURISTICA CANONICA

El recurso a la Heurística Canónica también es frecuente en SOE, que la utiliza para asegurar la correspondencia de los modelos causales que tienen que explicar por qué en algunos Episodios "desaparece" o "se acaba" un determinado atributo del material. El modo más inmediato (aunque también más ambiguo) de conseguirlo, es convenir en que el candidato causal probable responsable de que el material adquiriera esos valores del atributo, también "desaparece". Esta condición para que el modelo causal conserve su coherencia viene exigida por el Principio de Univocidad, según el cual a la misma causa sigue siempre el mismo efecto, de manera que si éste cesa, significa que ha cesado la primera.

En el Análisis se han destacado 8 ocasiones en las que SOE utiliza esta Convención: A1[6](050), A1[8i](090), A2[10](140), B'0[10](260), C'0[5](400), C0(F)[7](400), C0(Fi)[7](410) y D'0[4](560). En todas ellas SOE explicita la convención. Por ejemplo:

* SOE acaba de afirmar que en el borde de la repisa (punto F) la bola llevaba "algo de fuerza". Pero que en la caída subsiguiente sólo actuaba la fuerza de la gravedad. El diálogo sigue:

ENT.- "Pues en el punto F, ¿qué ha pasado con esa fuerza que llevaba ahí?"

SOE.- Pues... puede haber desaparecido".

(Cfr. A2[10](140).

* En el Episodio de subida de la flecha B1, SOE ha explicitado que el movimiento de ésta está provocado por un impulso. ENT pregunta:

ENT.- "¿Qué ha pasado en B?... Porque ahí cambia de pronto: iba para arriba y de pronto va para abajo. ¿Qué ha pasado en B?"

SOE.- Es que se ha acabado el impulso".

(Cfr. B'[10](260)).

* Después de que SOE ha dibujado la trayectoria del columpio del Sistema C, parte C, sigue explicando cómo es su funcionamiento:

ENT.- "Vale... Muy bien... ¿Qué cosas están interviniendo en que el columpio haga esa cosa así, esa trayectoria?"

SOE.- Pues... el impulso que Zape le da al columpio, y que va hasta B. Cuando llega a B, pues... el hecho de que... ese impulso se termina, hace que vuelva aquí... Uhm... Y en un cierto tiempo el columpio acabará parándose.

ENT.- Vale... ¿Por qué se parará el columpio?"

SOE.- Porque... no tendrá más... fuerza para seguir".

(Cfr. C'0[5](400), C0(F)[7](400), C0(F)[7i](410)).

SOE consigue eliminar la ambigüedad del modelo causal construido utilizando la Heurística Canónica en el caso del Episodio en que la flecha deja de subir (B'0[10](260)). Para ello, retira la Convención Amplia del Episodio B1, considerando que *sí actúa* la fuerza de la gravedad en la subida (B1[17](320) y [17i](330)), y explicita el mecanismo por el que el "impulso" va disminuyendo hasta alcanzar el punto más alto de la trayectoria (Cfr. B1[17ii](320)).

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

SOE es muy explícita cuando explica las características del *agente causal probable prototípico*: la "fuerza". Así afirma que "para que se moviera [la bola] tendría que haber una fuerza" (A1[7](060), A1[7i](070)); y para que la flecha suba debe existir un *impulso* (fuerza

mítica comunicada por el hombre): si no hubiera impulso "no subiría" (B[8](240)). Este "impulso" o "empuje" es lo más importante para conseguir que algo se *mueva*.

El *prototipo de efecto* es para SOE un cambio perceptible en la dinámica del Sistema. Cuando éste requisito no se cumple, SOE recurre a la Convención Amplia y entiende que ese candidato causal, aunque esté presente en el Episodio considerado, no "actúa", (Cfr. B0[13i](290), A0 y A1[18](340), C0[13i](470), etc.).

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontáneas

Candidatos causales dinámicos

En sus explicaciones espontáneas, SOE utiliza para explicar el comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios las fuerzas ("empujar", "tirar") que ejercen los agentes externos *ratón, hombre y hermano* (Cfr. A[2](010), B1[2](200), C1 y D[2](360)). Sólo en un caso se explicita un "impulso", originado en la fuerza del hermano, que tiene las características de una "fuerza suministrada" y mantiene el movimiento de subida en C1 (Cfr. C1[4](400)).

En ningún caso explicita espontáneamente un candidato causal probable para dar cuenta de los Episodios de bajada en los distintos Sistemas.

Candidatos causales estructurales

También en las explicaciones espontáneas de SOE se encuentran explicitados *constituyentes estructurales* de los diversos Sistemas. Así, la *estantería* (A0[1](010)); la *perdiz* (B0[1](200)); y el *columpio* (C1 y D[2](360), C[G1](360), C0(F)[7](400), D0[1](510)). En todos los casos son considerados como CONDUCTOS, es decir, como *soportes o condicionantes* de la acción causal.

A vista de lo anterior, puede afirmarse que existe una tendencia en SOE a construir sus modelos explicativos iniciales utilizando casi exclusivamente los agentes dinámicos externos que actúan sobre los Sistemas, es decir, los *candidatos causales dinámicos prototípicos*, relegando la posibilidad de utilizar los *elementos estructurales* como posibles candidatos causales, que serán considerado sólo como conductos.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

Del total de 66 explicaciones que SOE produce durante el proceso de teachback, en 13 enumera elementos estructurales de los distintos Sistemas. Son estos: la *escoba o palo* (A1[4](010), [4i](020)); la *tabla inclinada* (A1[5](040)), *tabla* (A2[14](180), A0 y A1[18](340)), *fin de la tabla* (A2[9](110)); la *cuerda y el arco* (B1[6](220)), *arco* (B1[7](230)); el *blanco* [perdiz] (B2[12](270)); las *cuerdas y el columpio*. En todos estos casos, estos constituyentes estructurales no se consideran como candidatos causales probables, sino como *condicionantes, transmisores o soportes* de la acción causal, es decir, son considerados como *conductos*. Las *cuerdas* son consideradas en 2 ocasiones como candidatos causales probables, jugando un papel activo en la determinación de la causalidad del Sistema en el Episodio C2 (Cfr. C2[12](460) y C2[14](470)). Por las características que SOE atribuye a este candidato causal le hemos llamado "elástico". Lo describimos a continuación.

i) El "elástico"

SOE no define este candidato causal. Simplemente lo utiliza porque no dispone de otro candidato causal probable para explicar dos fenómenos que se dan en la evolución del movimiento del columpio, que el Principio de Productividad exige que sean explicados en función de un agente causal: que el columpio en un cierto punto deje de subir (Episodio C'0); y que inicie la bajada en sentido contrario (Episodio C2). SOE lo expresa de la siguiente manera:

ENT.- ¿Por qué cuando llega a B, me has dicho antes, se iba para atrás? ... ¿Por qué se va para atrás?

SOE.- Porque ... las cuerdas del columpio le impiden llegar más arriba. Y también porque el impulso que tiene es menor.

Aquí parece que SOE enuncia una *condición estructural* que limita el camino de la acción causal. Así lo interpreta ENT, que sigue:

ENT.- "Si... Las cuerdas, me has dicho, para pararse,... y el impulso menor... Vale... ¿Y qué es lo que hace que se vuelva para atrás?

[Pausa]

SOE.- Las cuerdas... le hacen que se vuelva para atrás.

ENT.- Las cuerdas ... (...) ¿Qué es lo que hacen las cuerdas?... Porque cuando está aquí [Episodio C0, reposo] también hay cuerdas... y no se va ni para atrás ni para adelante...

SOE.- Pero es que aquí no... ha recibido ningún impulso.

ENT.- Aha... Entonces, en B... ¿qué ha pasado?... ¿Por qué se va para atrás?... Porque las cuerdas están ahí, muy bien, pero...

SOE.- Porque las cuerdas ya no dan más de sí".

(Cfr. C'0[11](450), C2[12](460), C0[13](470), C2[14](470)).

Como se deduce del diálogo anterior, ENT se asegura bien de que SOE no se está refiriendo solamente a un *condicionamiento* estructural, sino que además, en algunas circunstancias, se trata de un verdadero *candidato causal* estructural.

Funciones del "elástico"

Las funciones que SOE atribuye a este candidato causal son las de *iniciar la bajada* del columpio. Porque cuando éste está ya bajando, SOE explicita que "no sabe" qué candidatos causales probables mantienen el movimiento de bajada (Cfr. C2[15](490)).

También SOE enuncia una *circunstancia* o condición para que este candidato causal actúe: el columpio debe tener cierto "impulso" hacia arriba (Cfr. C'0[11](450) y C0[13](470)). De otra manera no se activaría el mecanismo "elástico". La conceptualización es bastante coherente con la analogía que parece subyacer: un material elástico no realiza ninguna acción perceptible mientras no se altere su situación de reposo. Parece que SOE está realizando una *proyección* de su experiencia personal con este tipo de materiales.

Candidatos causales dinámicos

Una vez que los Sistemas se han puesto en funcionamiento por la acción de los agentes causales exteriores *ratón, hombre, hermano*, la evolución de los mismos prosigue gracias a la acción de otros candidatos causales probables, explicitados por SOE al explicar los distintos Episodios. El más relevante es el "impulso" o "fuerza suministrada", originada en la acción de los agentes externos, que explica la dinámica de algunos Episodios en los tres Sistemas (Cfr. por ejemplo, A1[7](060), B1[7](230), C1.1[10](440), D0[2](540), D1[3](550), etc). Pero además hay otro candidato causal dinámico que por su importancia describimos a continuación.

i) La "fuerza de la gravedad"

La "fuerza de la gravedad", siempre nombrada así por SOE, es un candidato causal probable de naturaleza dinámica que interviene en las explicaciones de Episodios correspondientes a los Sistemas A, B y C parte D. La define así:

- "La fuerza de la gravedad es... una fuerza que atrae a los cuerpos hacia el centro de ... una masa. (...) Esa masa estaría en el suelo". (Cfr. A2[11](140) y [11i](150)).

Posee las características de un candidato causal prototípico: Es una fuerza de atracción (A2[11](140); que tiene un efecto dinámico: hacer caer (A2[9](110), B2[11](270)); y que puede actuar juntamente con otras "fuerzas" (B1[17ii](340)).

La gravedad actúa siempre (D1[9](620)) y su dirección es

- "hacia el centro... O sea, ... verticalmente" (A2[11](140)).

Funciones de la "fuerza de la gravedad"

La función fundamental de la gravedad es *hacer caer* (A2[9](110), A2[11](140), B2[11](270), D2[5](570), etc.) y *mantener el movimiento de caída* (A2[12](140), B2[13i](290)). Por esta razón, aunque anteriormente había afirmado que la fuerza de la gravedad permanecía la misma en los diferentes puntos de la bajada (B2[13i](290)), en el momento que explicita que *el movimiento crece* (B2[15](310)) se ve obligada a reconstruir su modelo para este candidato causal, afirmando que también la fuerza de la gravedad crece en la bajada (B2[16](310)). Esta necesidad de reconstruir el valor de la fuerza de la gravedad en la bajada quizá venga forzada por la creencia de que *si varía* un efecto tiene *que variar* necesariamente la causa que produce tal efecto.

A pesar de que la definición que explicita SOE acerca de la "fuerza de la gravedad" hace relación a todos los cuerpos, en realidad impone restricciones en su función de "atraer" de la manera siguiente:

Cuando el cuerpo está *apoyado y moviéndose horizontalmente*, aunque la "fuerza de la gravedad" esté presente, no actúa, porque se lo impide la repisa (Cfr. A1[18](340)). *Si el cuerpo está suspendido* (Sistema C, parte C) tampoco "actúa". Al menos SOE no la ha mencionado en relación al Sistema, ni ha considerado que pudiese utilizarla en algún momento como un candidato causal probable que actuase en algunos de sus Episodios. Cuando el cuerpo se mueve en el aire en una trayectoria horizontal (Episodio D1), tampoco "actúa", esta vez porque queda "desplazada" por el "impulso" que mantiene el movimiento del cuerpo (D1[9](620)).

Si el cuerpo *se mueve en el aire con un movimiento vertical hacia arriba*, en un primer momento no se considera su actuación (B1[2](200), [6](220), [7](230), [9](260)). Pero en el momento en que explicita que éste movimiento es decreciente, SOE se ve en la necesidad de reconstruir el modelo causal del Episodio, para conseguir su correspondencia sin tener necesidad de recurrir a la Heurística Canónica, e introduce en él la acción de la "fuerza de la gravedad". En este caso, su función sería explicar por qué disminuye el "impulso" que mantiene el movimiento de subida de la flecha.

Representación gráfica de la "fuerza de la gravedad"

SOE representa gráficamente la "fuerza de la gravedad en una ocasión, y lo hace con una flecha deslocalizada apuntando verticalmente hacia la raya que representa el suelo (A2[11i](150)). La representación es coherente con su explicitación de que esta fuerza actúa "hacia el centro (...), verticalmente" (Cfr. A2[11](140)).

Componentes

SOE no considera que esta "fuerza" pueda tener componentes. No considera esta posibilidad en ninguno de los candidatos causales que maneja en sus explicaciones.

Relación con otros elementos

La "fuerza de la gravedad" nunca aparece relacionada en las explicaciones de SOE con el "peso" o la "masa", conceptos que, por otra parte, nunca aparecen citados en ningún Episodio (la "masa" a que alude en A2[11](140) y [11i](150) es un elemento exterior al Sistema, poco definido)

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

En las explicaciones que SOE ofrece sobre el comportamiento de los Sistemas, también menciona otros candidatos causales, aunque con menos entidad que los anteriormente señalados. Son los siguientes:

- El *aire*. Es un elemento del entorno del Sistema que podría convertirse en un candidato causal probable si fuese necesario. Sólo lo menciona en una ocasión en relación al Sistema A. Su función podría ser la misma que la del *ratón*, es decir, sería un candidato causal de naturaleza dinámica capaz de poner en movimiento el Sistema. (Cfr. A1[4i](020)).
- Un *imán*. Sería un candidato causal probable de naturaleza dinámica, capaz de ejercitar en el Sistema A la misma función que el "impulso" que mantiene el movimiento de la bola en el Episodio A1, si ésta fuera de hierro (Cfr. A1[8](090)).
- *Movimiento de Zipi*. El *movimiento de Zipi* sería capaz de modificar el movimiento de éste en su trayectoria horizontal por el aire, de manera que, por ejemplo, podría adelantar su caída (Cfr. D1[6](570) y [6i](580)). Parece que SOE en esta explicación distingue entre "Zipi", material cuyo movimiento viene determinado por el "impulso" de su hermano; y "movimiento de Zipi" que sería capaz de alterar su propio "movimiento".

RESULTADOS DEL ANALISIS DE DAE

Daniel es muy expresivo. Aun cuando titubea, una vez que responde, el tono de voz y el gesto es de seguridad. Sus pausas son cortas, y las respuestas que les siguen son resueltas. La entrevista es relajada, y en algún momento con tonos de humor. Sus dibujos son muy expresivos y muestra gran facilidad para expresar gráficamente lo que piensa.

1. DIVISION EN EPISODIOS

DAE distingue en el comportamiento de los Sistemas los siguientes Episodios:

- **Sistema A:** A0, considerado como tal explícitamente desde el principio (A0[1](010)); A1, (A1[2](010)), que pronto considera como constituido por los Episodios A1.2, con un movimiento creciente, sostenido por un "impulso" mítico de valor fijo; y A2.2, con movimiento decreciente, e "impulso" también decreciente (A1.1 y A1.2[7](060), A1.1[8](070), A1.2[9](080)). Ambos Episodios se reconstruyen y pasan a ser considerados por último como uno sólo, el A1, en el que movimiento e impulso disminuyen (A1[G3](090)); A2, movimiento de caída vertical (A2[3](010)), perpendicular (A2[5](040)), provocado por la fuerza de la gravedad (A2[16](150)), de velocidad constante (A2[16i](160)); que más tarde se reconstruirá y considerará como constituido por los A2.1, de velocidad creciente (A2.1[19](350)), y A2.2, movimiento de velocidad constante (A2.2[19](350)), constituyendo estos dos últimos un modelo robusto.
- **Sistema B:** B0, explicitado desde el principio de su comentario; B1, (B1[2](240)), movimiento de subida vertical, mantenido por una fuerza mítica (B1[6](260)), que disminuye en la subida (B1[12i](280)), y produce una velocidad también decreciente (B1[16](300)); B'0, poco explícito al principio (B'0[3](240)), y que luego se caracteriza como un Episodio de transición B'0-B2 (B[G1](240), B'0-B2[7](260)) en el que el material describe una "vuelta"; B2, movimiento de caída (B2[4](240)), provocado por la fuerza de la gravedad (B2[17i](300)), que luego se explicita como constituido por los Episodios B2.1, de velocidad creciente, y B2.2, de velocidad constante (B2.1 y B2.2[18iii](350)), siendo estos dos últimos modelos robustos.
- **Sistema C, parte C:** C0, explícito desde el primer momento (C0[G1](420)); C1, movimiento creciente de subida mantenido por una fuerza mítica (C1[6](480)), que va también creciendo (C1[11i](510)) en un principio, y que más adelante se reconstruye, y va decreciendo en la subida, y produciendo una velocidad también decreciente (C1[22](590));

C'0, (C'0[G3](420)), donde no hay "impulso", ni velocidad (C'0[23](600)); C 2 (C2[G4](420)), de velocidad creciente (C2[14](520)), producida por la gravedad (C2[19](540)) y el "peso" (C2[27i](620)); C''0, donde el movimiento de bajada no se para (C''0[9](480)); C'1, movimiento de subida, mantenido por un "impulso" mítico (C'1[15](520)) que va disminuyendo (C'1[28ii](660)); C'''0, (C'''0[30](670)), donde el "impulso" se acaba; y C'2, en que se vuelve a bajar (C'2[31](670)). El episodio C0(F) permanece implícito (Cfr. C[34](670)).

- **Sistema C, parte D:** D0, explícito, donde Zipi sale disparado (D0[G5](420)); D1, que primero se describe como un movimiento de subida (D1[G5](420)); más adelante como un movimiento horizontal (D[G7](440)); y por último como un movimiento de subida mantenido por un impulso de naturaleza mítica (D1[1](690)); D'0, donde éste impulso se acaba (D'0[2](700)); y D2, que primero es un simple movimiento de caída siguiendo una trayectoria recta inclinada, provocado por el "peso" (D2[3](700)), y que más tarde se explicita con constituido por los Episodios D2.1, donde el movimiento es lento (D2.1[7](710)); y el D2.2, donde el movimiento alcanzaría una cierta magnitud, que se mantendría con el mismo impulso, en toda la trayectoria (D2.2[7](710), [G4](720)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

DAE mantiene una concepción causal ontológica a lo largo de todas sus explicaciones a los distintos Episodios en los que considera subdivididos los Sistemas que estamos comentando. A modo de ejemplo destacamos algunos de los usos de los Principios Causales que hemos señalado en nuestro Análisis.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

En el Análisis hemos destacado la utilización por parte de DAE de este Principio en un total de 18 ocasiones. De ellas, en 7 lo hace espontáneamente (A1[2](010), B1[2](240), B1[6](260), C[2](410), D[3](410), C1[4](420), C1[6](480)), y el resto durante el proceso de teachback (A1[6i](060), B1[G4](320), C1[10](490), C2[19](540), D2[G2i](690), etc.).

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

Utilizado explícitamente por DAE sólo durante el proceso de teachback, en un total de 29 ocasiones (A1[4](040), A1.1[7](070), A1.2[8](080), A2[16](150), B1[11](270), B'0-B2[18](330), C1[8](480), C2[24](600), C''0[28i](650), C'1[28iv](660), D2[3](700), etc.). La frecuencia de la utilización de este Principio muestra la facilidad por parte de DAE de explicitar su pensamiento causal mediante un razonamiento que va del efecto a la causa.

Facilidad que es aprovechada en el proceso de teachback para poner a DAE en condiciones favorables para que explicitase su pensamiento.

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

El Principio de Condicionalidad, como explicitación de *condiciones* para que la acción causal tenga lugar del modo que lo hace, es utilizado con frecuencia por DAE. De entre ellas destacamos:

- *Condiciones estructurales*. Por ejemplo: que la *repisa acabe* es condición para la caída (A2[5](040)); que el columpio esté *sujeto a un eje* condiciona el movimiento y la trayectoria de Zipi en el Sistema C, parte C (C1[10i](500), C1[10ii](500), C"0 y C'1[15](520), C[G10i](620)).

- *Condiciones dinámico-estructurales*. Así la *distancia recorrida* sobre la repisa condiciona la velocidad que lleva la bola (A1[12](090), y que la caída sea más o menos lenta (A2[17](160)); la *longitud de la repisa* condiciona el valor del impulso (A1[G4i](110), A1[14](110)) y la parada de la bola (A1[13](110)); el *no alcanzar al pato* es condición para que la flecha empiece a caer (B2[4](240)).

- *Condiciones dinámicas*. Así, que el *golpe sea fuerte* es condición para que la bola llegue al final de la repisa (A1[4](040)); que se *acabe el impulso* es condición para que la flecha empiece a caer (B'0-B2[7](260), B'0-B2[7](280), B2[17i](300)), o el columpio o Zipi a bajar (C2[9i](490), D'0[2](700)), o a torcerse la trayectoria de Zipi (D2[5i](710)); que el *impulso sea fuerte* es condición para que no actúe la gravedad (D1[6](710)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

DAE utiliza el Principio de Univocidad en los Episodios en que debe anularse un atributo del material (cesar un efecto) para que el modelo causal sea correspondiente, y no explicita un mecanismo que dé cuenta de esa anulación. En este caso, y para preservar este Principio, tiene que "desaparecer" también el candidato causal responsable de que el material poseyese dicho atributo. Esto lo consigue recurriendo a la Heurística Canónica. De las 14 ocasiones en que hemos destacado la utilización de este Principio por parte de DAE (Cfr. A1[G4ii](110), B'0-B2[13](280), C2[9i](490), C'0[23](600), C""0[30](670), D'0[2](700), etc.), sólo en una de ellas lo hace explícitamente antes del proceso de teachback (Cfr. B'0-B2[7](260)).

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

Hemos destacado la utilización del Principio de Asimetría por parte de DAE en las explicaciones donde sólo recurriendo a él se evita la confusión causa-efecto. Todas ellas se refieren al Sistema C, parte C, (C1[12](520), C"0 y C'1[15](520), C1[16](520), C2[27ii](640), C2[27iv](650), C2 y C'1[28iv](660), C[33](670), C[34](670)), excepto en el Episodio D2[3](700), donde incorpora el modelo causal aprendido en las explicaciones anteriores. En todas las explicaciones se utilizan modelos causales con estructuras de cadena causal, donde se articulan candidatos causales reales y míticos, éstos últimos necesarios, en la argumentación explícita o implícita de DAE, para salvar la correspondencia de dichos modelos causales.

3.LOCALIDAD

La *localidad*, tal como se entiende en el modelo de de Kleer y Brown es utilizada por DAE con total flexibilidad y naturalidad en todos sus comentarios sobre el comportamiento de los Sistemas. Se pone de manifiesto especialmente en la libertad con que introduce localmente distintos candidatos causales probables, cuando son necesarios para que los modelos causales de los Episodios sean coherentes y correspondientes.

Así, por ejemplo, el candidato causal dinámico *aire* sólo se explicita en el Sistema A, y en el Episodio A1, cuando es necesario para explicar por qué la bola se para (Cfr. A1[G5](130) y ss.); el candidato causal *peso* sólo se utiliza en el Sistema C en los Episodios de bajada, tanto en la Parte C como en la parte D, para dar cuenta de la dirección en que se mueve el material, y de cómo se genera el "impulso" responsable de mantener el movimiento (Cfr. C2[27ii](640), C2[28i](660), C'2[33](670), D2[3](700), etc.) Y lo mismo sucede con el candidato causal *fricción*, sólo utilizado en los Episodios B1 y B'0-B2 (Cfr. B'0-B2[17ii](310), B1[G4](320), etc.), y con el candidato causal *velocidad*, que actúa sólo en el Sistema C, parte C (Cfr. C1[12](520), etc.)

En cuanto al candidato causal *gravedad*, aunque enunciado en su actuación sin restricciones ("Es la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos"), de hecho sólo actúa como candidato causal probable en los Episodios de bajada de los tres Sistemas. Aunque para conseguir la correspondencia y coherencia de los modelos causales que explican los otros Episodios tenga que recurrir a la Convención Amplia (A1), a la Heurística Canónica (C1, C'1), o a otros candidatos causales míticos, que ejercerían su misma función causal (caso de la "fricción" en B1).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

Todos los modelos causales iniciales explicitados por DAE en sus explicaciones espontáneas, antes de comenzar el proceso de teachback, presentan la estructura simple

1 causa -> 1 efecto (Constancia)

Son las explicaciones A1[2](010), B1[2](010), B1[2](240), B1[6](260), C1[4](420), C1[6](480).

Superposiciones

Los modelos anteriores suponen en algunos casos una simplificación tanto de Episodios como de estructura, como se pone de manifiesto en el proceso de teachback. Simplificaciones que son más evidentes en las explicaciones C[2](410) y D[3](410), que aunque también se explicitan con la estructura simple

1 causa -> 1 efecto (Constancia)

son en realidad el resultado de *superposiciones* simplificadoras de diversos modelos causales de estructuras más complejas (Cfr., por ejemplo, C1[12](520), C2[27iv](650), C[34](670), D2[3](700), etc.).

En todos los modelos explicitados espontáneamente DAE ha utilizado el *Principio de Constancia*, es decir, el razonamiento causal ha procedido yendo de la causa al efecto.

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

Durante el proceso de teachback la estructura de los modelos causales que utiliza DAE para explicar el funcionamiento de los Sistemas se ha explicitado en 43 ocasiones. De ellas, 24 presentan la estructura simple

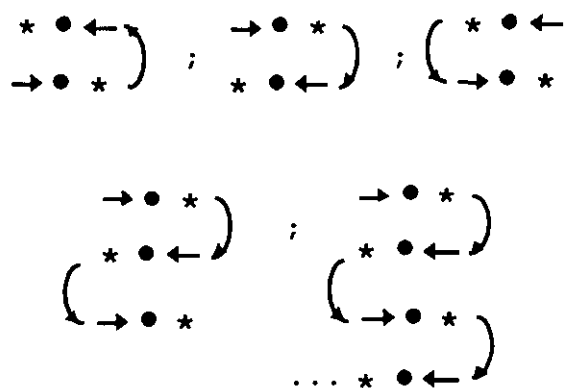
1 causa -> 1 efecto (Constancia)

1 efecto <- 1 causa (Productividad)

De manera que puede afirmarse que existe la tendencia a usar modelos causales simples por parte de DAE, aunque su pensamiento causal pueda llegar a ser bastante complejo, como veremos más adelante. Así, presentan esta estructura causal las explicaciones dadas a los Episodios A1[4] (040), A1.1[8](070), A1.2[9](080), A2[16](150), B1[12](280), B2[17i](300), C1[8](480), C2[19](540), C'1[29](670), D1[1](690), D2[G2i](690), etc.

Cadenas causales simples

En nueve ocasiones, los modelos explicitados presentan estructuras de cadenas casales simples. Se construyen para salvaguardar la correspondencia y coherencia de los modelos utilizados para explicar el comportamiento de los Sistemas en Episodios concretos (C2[27ii](640), C2[27iv](650), C2[28iv](660), D2[3](700)); o la continuación de la acción causal de un Episodio a otro (C"0 y C1[15](520), C1 y D0[16](520), C2 y C'1[20](540)); o la explicación global a todo el funcionamiento de un Sistema, como fruto de un proceso de construcciones y reconstrucciones de modelos, que se da al final de teachback (C[33](670) y C[34](670)). Las estructuras son del tipo:



En todas ellas se manejan candidatos causales reales y míticos.

Estructuras causales complejas

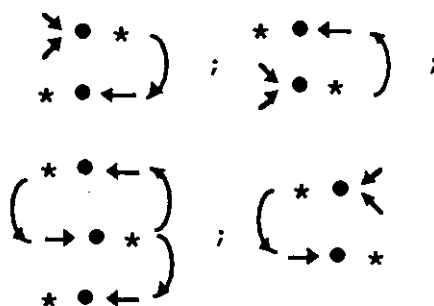
Varias causas, un efecto

En tres ocasiones DAE explicita más de un candidato causal para explicar un efecto determinado. En dos de ellas lo hace para eliminar la ambigüedad que suponía la utilización de la Heurística Canónica en el modelo causal del Episodio (A1[G5](130) y B'0-B2[17iii](310)). En la otra, para hacer que el modelo sea correspondiente (C2[27i](620)). Presentan la misma estructura:



Cadenas causales complejas

En cinco ocasiones se han explicitado modelos causales que presentan estructuras de cadenas causales complejas. Son las relativas a las explicaciones que DAE ofrece a los Episodios B1[G4](320), B'0-B2[G4i](320), B'0-B2[18](350), C1[12](520), D2[5ii](710). Las estructuras son del tipo



En todas ellas se manejan candidatos causales reales y míticos.

5. UTILIZACION DE CONVECCIONES

DAE utiliza con naturalidad y soltura tanto la *Convención Amplia* como la *Heurística Canónica*, cuando explica el funcionamiento de los Sistemas en sus distintos Episodios. A continuación destacamos algunas de esas ocasiones.

CONVENCION AMPLIA

En las *explicaciones espontáneas*, DAE siempre utiliza la Convención Amplia cuando los Sistemas están en *reposo*. Así, en A0[1](010), B0[1](240), C0[1](410), etc. Cuando los Sistemas están en *movimiento* también recurre a la Convención Amplia en los Episodios A1[2](010), B1[2](240), C1[4](420), D[3](410), D0[G5](420), etc. Como el mismo DAE explicará más tarde, no se trata de ignorancia acerca de otros candidatos causales que están presentes en esos Episodios. Sino que espontáneamente no se mencionan, ya que los modelos causales iniciales son correspondientes en primera aproximación.

En el *proceso de teachback*, DAE sigue utilizando la Convención Amplia. En el Análisis se ha señalado explícitamente en algunos Episodios (Cfr. A0[G2ii](040), A1[20](210), A2[16](150), B0[10](270), B1[12](280), B'0-B2[17ii](310), C1[22](590), D1[1](690), etc). Pero en conjunto se aprecia con más fuerza cómo se combina con el *pensamiento local* para conseguir modelos correspondientes y coherentes. Así, por ejemplo, DAE utiliza la Convención de que la "gravedad" no actúa en ninguno de los Episodios en que los Sistemas están en reposo o en un movimiento de subida, a pesar de que su

"actuación" sobre los cuerpos se ha explicitado sin restricciones. Tampoco actúa en estos Episodios el candidato causal "peso", aunque DAE sabe que está presente en ellos, como se observa en sus representaciones gráficas (Cfr. C2[27iii](650) y C[34](670)). De igual modo sucede con el candidato casual dinámico "aire", cuya acción sólo se explicita en A1, aun cuando DAE conoce que está presente en todos los Sistemas: en las otras circunstancias su actuación se considera despreciable, comparada con la que ejercen otros factores (por ejemplo, la gravedad, en los Episodios de caída). Etc.

En algunas de sus explicaciones DAE explicita esta Convención Amplia:

* DAE acaba de afirmar, refiriéndose al Episodio A2, que sin la actuación de la "gravedad" la bola no caería, sino que "flotaría" o "se iría para arriba" (Cfr. A2[19](210)). ENT le pide que lo explique un poco más. En vez de contestar directamente, DAE alude a la actuación de la gravedad en el Episodio A1:

- "Igual que esto... Se iría así... No andaría por la línea [repisa]... Estaría flotando por encima de ella" (A1[20](210)).

ENT aprovecha la oportunidad y pregunta abiertamente:

ENT.- "La gravedad, entonces, ¿actúa... aquí... encima de la tabla?"

DAE.- Claro.

ENT.- Pero antes no me habías hablado de ella, cuando me has hablado del movimiento. ¿Es que no influye?... ¿Es que influye?... ¿Cómo influye?...

DAE.- Claro que influye la gravedad... en el movimiento.

ENT.- ¿Cómo influye ahí?

DAE.- Si no hubiera gravedad, en vez de... Andaría por la tabla, ¿no?, pero en vez de estar pegada, a lo mejor estaría flotando.

ENT.- O sea, que la gravedad influye... haciendo...

DAE.- Que se pegue a la tabla.

ENT.- Aha, pero... nada más...

DAE.- Nada más".

(A1[20i](210), [21](220), [21i](220)).

* Al explicar el Episodio D2, DAE ha explicitado por primera vez la actuación de la gravedad en el Sistema C, parte D. (D2[5ii](710)). ENT aprovecha para preguntarle por la actuación de la gravedad en el Episodio D1, en que no la mencionó a pesar de tenerla representada en el Episodio D0 (Cfr. D[G1](680)):

ENT.- "¿Y aquí?... En el tramo de B a 1, ¿no hay gravedad?"

DAE.- "Sí... Pero aquí el impulso es más fuerte". (D1[6](710)).

Ante la acción del impulso ("más fuerte"), la acción de la gravedad es despreciable. Es el mismo razonamiento que utiliza en A2[16](150):

* DAE acaba de decir que en el extremo de la tabla (b) la bola aún lleva un "impulso" (Episodio A1). Antes de pedirle que explique el funcionamiento del Sistema en A2, ENT se lo recuerda. Pero DAE no lo tiene en cuenta:

ENT.- Este b de aquí... Aquí todavía lleva un...

DAE.- Impulso, aunque es menor...

ENT.- ... impulso, aunque es menor que al principio. Vale... lo cierto es que se acaba la tabla aquí, y empieza a caer la bola. Vamos a la caída. ¿Qué cosas crees tú... que están influyendo en la caída?

DAE.- La fuerza de la gravedad.

ENT.- La fuerza de la gravedad...

[Pausa]

¿Algunas cosas más crees tú que influyen?

DAE.- La gravedad es la misma... en todos... los puntos".

(A2[16](150) y [16i](160)).

Parece claro que el "impulso" de la bola en b, aunque este ahí, no juega ningún papel causal en la caída, ya que no afecta a la acción de la gravedad, "la misma en todos los puntos".

HEURISTICA CANONICA

DAE recurre a la Heurística Canónica en los Episodios en los que para preservar la correspondencia del modelo causal construido y el Principio de Univocidad, se ve en la necesidad de hacer que "desaparezca" o se "acabe" la actuación de un candidato causal. Son estos los Episodios en los que el movimiento del material cambia de dirección o de sentido en los distintos Sistemas, o se para definitivamente. Así en A1[G4ii](110); B'0-B2[7](260), B'0-B2[13](280); C'0[13](520), C'0[25](600), C''0[30](670), etc. La explicitación del recurso a la Heurística Canónica, haciendo "desaparecer" el candidato causal es bastante repetida. Destacamos algunas de ellas:

* ENT sugiere a DAE, en el Episodio A1, que se imagine la tabla muy larga, y explique qué pasaría.

DAE.- "Se pararía, más o menos, en C. Si esto siguiera adelante se pararía en C.

ENT.- Vale. Imaginate que se para en C... ¿Por qué se pararía?

DAE.- Porque ha disminuido... el impulso

(...)

ENT.- ¿Y qué te parece a tí que ha pasado con el impulso?

DAE.- No hay... Ha desaparecido... por arte de magia [risas]... No sé, al ser la distancia mucho más larga, pues... ha desaparecido".

(A1[G4](100), [G4i](110), [14](120)).

* En el Episodio B1, DAE ha explicitado que es un "impulso" el que hace subir a la flecha.

ENT pregunta por éste impulso en el extremo de la trayectoria:

ENT.- "Y en 3, ¿qué ha pasado?

DAE.- "Es más pequeño que en 2, ya se ha acabado, es nulo".

(B'0-B2[15](290)).

* DAE acaba de explicar que en C1 el "impulso" que hace subir el columpio crece, a medida que sube (Cfr. C1[12](520) y ss). A pesar de todo, al llegar a C'0, este "impulso" que venía creciendo se "anula". DAE lo afirma con la mayor naturalidad:

ENT.- "Entonces... me has dicho que el impulso en X es... mayor... que en A.

DAE.- Sí.

[Pausa]

En B es nulo".

(C1[17](530), C'0[18](540)).

* Del mismo modo, en D'0, el impulso también "desaparece" sin que DAE explique cómo:

ENT.- "¿Y por qué da esa vuelta?

DAE.- Porque... aquí se acaba el impulso.

ENT.- ¿En 1?

DAE.- Sí. En 1 se acaba el impulso, en este punto... Se acaba el impulso, y empieza el impulso hacia abajo".

(D'0[2](700))

Es de notar que a lo largo del teachback DAE llega a construir un modelo causal para no tener que recurrir a la Heurística Canónica en los Sistemas A y B (Cfr. A1[G5](130) y B'0-B2[17ii](310)). Pero no lo consigue en el tiempo de la entrevista para ninguna de las dos partes del Sistema C.

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

De las explicaciones que DAE ofrece acerca del comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios, parece claro que el *prototipo de candidato causal probable* es una "fuerza" ejercida por el hombre, o por otro ser vivo, capaz de producir un cambio dinámico en el Sistema:

ENT.- "Qué sería, entonces, lo más importante para que empezara...

DAE.- Que alguien la tocara, o la golpeará, para que se moviera"

(A1[6](050)).

Los demás candidatos causales probables, reales o míticos, tendrán también las características de una "fuerza" (Cfr. A1[G5](130), A2[16](150), B'0-B2[17iii](310), etc).

El *prototipo de efecto* es un cambio perceptible en la dinámica del Sistema. Por esta razón, la "fuerza" de la gravedad no "actúa" cuando el Sistema está en reposo, o DAE considera que su acción no altera el estado de movimiento de un Sistema.

Esta concepción prototípica de "causa" y de "efecto" explica la utilización de la Convención Amplia por parte de DAE. Aquí convendría recordar todos los comentarios que hicimos anteriormente al examinar su recurso a esta convención.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontaneas

Candidatos causales dinámicos

Los candidatos causales dinámicos que DAE utiliza espontáneamente para explicar el comportamiento de los Sistemas son las fuerzas ("atizar", "disparar", "empujar") que realizan los agentes externos, *ratón, hombre y hermano* (Cfr. A1[2](010), B1[2](240), C[2](410), D[3](410), etc), que los ponen en marcha. Estas acciones generan a su vez otros candidatos causales, con características de "fuerza suministrada", que mantienen el movimiento ("tirar", "impulso") (Cfr. B1[6](260), C1[6](480)).

En ningún caso expresa espontáneamente ningún candidato causal probable que explique los Episodios de bajada.

Candidatos causales estructurales

Aunque DAE explicita *constituyentes estructurales* en sus explicaciones espontáneas acerca del funcionamiento de los tres Sistemas, en todos los casos los considera como CONDUCTOS, es decir, como *soportes* o *transmisores* de la acción causal. Así, en A0[1](010) y A[G1](010), *la escoba*; y en C0[1](410) y D[3](410), *el columpio*.

De manera que puede afirmarse que en los modelos causales iniciales, DAE utiliza exclusivamente *candidatos causales dinámicos prototípicos*. Los *elementos estructurales* sólo los considera como *conductos*.

Durante EL proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

De las 123 explicaciones que DAE ofrece durante el proceso de teachback al funcionamiento de los Sistemas en sus distintos Episodios, en 16 de ellas cita *constituyentes estructurales*. Son estos la *escoba* (A1[4](040), A2[G6i](180)); la *tabla* (A1[G4i](110), [13](110), [14](120), [20](210), [21](220), [21i](220)); el *final de la tabla* (A2[5](040)); la *cuerda* (B1[11](270)); el *eje* (del columpio) y el *estar sujeto al eje* (C1[10i](500), C1[10ii](500), C"0 y C'1[15], C2[G10i](620)). En estos casos se trata de CONDUCTOS que soportan o condicionan la acción causal. También cita DAE una *pared*, que sería un objeto del entorno del Sistema, que podría constituir otro CONDUCTO que obstruyera la acción causal (C"0[28i](650)), y una *mesa inclinada* (A2[17](160)), que posibilitaría que un lápiz se deslizara por ella y cayera, describiendo un movimiento análogo al de la bola.

En ningún caso, pues, los constituyentes estructurales juegan ningún papel causal positivo, sino que únicamente *posibilitan*, *soportan*, o *condicionan* la acción causal, comportándose pasivamente en el Sistema.

Candidatos causales dinámicos

Después que los Sistemas se han puesto en funcionamiento por la acción de los agentes causales exteriores, *ratón*, *hombre*, *hermano*, DAE explica el comportamiento de los mismos en los distintos Episodios recurriendo a una serie de candidatos causales probables, que son los responsables de los valores de los atributos de los materiales en cada uno de ellos. Destaca entre todos ellos la "fuerza suministrada", que no comentamos, pero que DAE utiliza en todos los Sistemas, y que en todos ellos explicita (Cfr. A1.1[8](070), B1[11](270), C2[9i](490), D1[1](690), etc). Además de éste, son particularmente interesantes los siguientes:

1) "fuerza de la gravedad", "gravedad"

La "fuerza de la gravedad" o simplemente "gravedad" es un candidato causal probable al que DAE recurre para explicar comportamientos de los tres Sistemas en algunos de sus Episodios. La define como:

- "La fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos... que se... Uhm... la fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos" (B2[18i](330)).

Presenta las características de un candidato causal prototípico: "es una fuerza de atracción" (B2[18](330)) que hace "caer" a los cuerpos (A2[16](150), A2[16i](160),

B2.2[22](360), B2.2[24](390), C2[19](540), C2[24](600)), y que actúa juntamente con otras "fuerzas" (C2[27ii](620), D2[5ii](710)).

A pesar de que en su definición DAE no hace restricciones acerca de la actuación de la gravedad, en realidad su actuación sólo la explicita en los Episodios de bajadas, A2, B2, C2 y D2, de los distintos Sistemas. Es decir, su acción es *local*. En los restantes Episodios, aunque "esté" presente no "actúa", ya que no realiza, según DAE, ningún cambio en los valores de los atributos de los materiales en estos Episodios (recurso a la Convención Amplia). Esto es así aun en los casos en los que tiene que recurrir a candidatos causales míticos para que los modelos sean correspondientes (Cfr. B'0-B2[17iii](310) B1[G4](320), B'0-B2[18](330), etc).

Sólo en una ocasión DAE menciona la "ley de la gravedad" (B2[17ii](310)), explicitando a continuación que se trata de una "fuerza" (Cfr. B2[18](330)).

Funciones de la "fuerza de la gravedad"

La función fundamental de la fuerza de la gravedad es *hacer "caer"*, como dijimos anteriormente. De manera que si no existiera, el cuerpo "flotaría, no caería", incluso "se iría para arriba" (Cfr. A2[19](210)).

Cuando el cuerpo *está apoyado*, la función de la gravedad es mantener el cuerpo "pegado" a la superficie (Cfr. A1[21](220)), de manera que si no hubiera gravedad "no andaría por la línea [tabla]... estaría flotando por encima de ella". En este caso, no influye en el movimiento, porque "nada más" hace que "se pegue a la tabla" (A1[21i](220)). De estas explicitaciones podría deducirse que DAE conceptualiza la gravedad en estas circunstancias como un elemento estructural, como un CONDUCTO, cuya función es condicionar el camino (por encima de la tabla y pegado a ella) de la acción causal, pero sin ejercer ninguna acción sobre los atributos del material.

Cuando el cuerpo *está cayendo verticalmente*, la función de la gravedad es *hacer caer y mantener el movimiento* (A2[16](150), [16i](160), B2.2[22](360), [24](390)). En estos casos la gravedad tiene un *valor constante* y, como consecuencia, la *velocidad* de caída es también *constante*. Quizá esto denote la convicción por parte de DAE de que una causa constante produzca un efecto constante. Y este efecto es la velocidad.

Si el cuerpo *no cae verticalmente*, la gravedad sólo hace caer, pero el movimiento lo mantienen otros candidatos causales míticos, como el "peso", la "velocidad" o el "impulso" generados por ellos (Cfr. C2[19](540), C2 y C'1[20], C2[24](600), C2[27iv](660), D2[3](700), etc).

Representación gráfica de la "gravedad"

DAE representa gráficamente la gravedad en dos ocasiones, a petición de ENT. A pesar de que anteriormente había explicitado que la gravedad "atrae hacia el eje" (Cfr. C2 y C'1[20](540)), en la representación gráfica la representa sólo actuando en los puntos de la trayectoria donde el columpio empieza a caer y en dirección vertical hacia abajo (Cfr. C2[G10](610) y C[34](670)). Es precisamente a partir de la primera representación gráfica cuando DAE empieza a recurrir a candidatos causales míticos para explicar cómo se mantiene el movimiento y los valores que van adquiriendo los atributos del material, ya que la dirección de la trayectoria no coincide con la dirección en que actúa g. (Cfr. C2[27i](620), C2[27ii](640), C[33](670), etc.).

Componentes

DAE no considera la posibilidad de que la fuerza de la gravedad pueda descomponerse en otras fuerzas. Tampoco considera esta posibilidad en ningún otro candidato causal de los que maneja al explicar los distintos Episodios en los tres Sistemas.

ii) El "peso"

El "peso" es un candidato causal dinámico que de naturaleza mítica, al que DAE recurre para explicar el comportamiento del Sistema C, en los Episodios de bajada, C2, C'2 y D2.

La primera vez que se explicita es en C2[27i](620). DAE acaba de representar gráficamente la "gravedad" y también ha explicitado por primera vez que la "velocidad" crece en la bajada. Necesita, pues, un candidato causal probable que explique *por qué crece la velocidad en la dirección de la bajada*. La "gravedad" se excluye: es un candidato causal de valor constante, y por lo tanto, no puede producir efectos que varíen de un punto a otro (Cfr. A2[16i](160)); y la dirección en que actúa g no coincide con la de la trayectoria que recorre el material. Entonces recurre al "peso" que actúa, aunque sin excluir la actuación de g.

La relación entre la "gravedad" y el "peso" no está muy explicitada. DAE se limita a afirmar:

- "El peso influye... pero también influye la gravedad... si no hubiera gravedad... sería menor el peso, y bajaría menos" [con menor velocidad]. (C2[27ii](640)).

Funciones del peso

De la anterior afirmación de DAE puede deducirse que la función del "peso" como candidato causal es hacer que crezca la velocidad en la dirección del movimiento. Así lo

explicita en sus representaciones gráficas (Cfr. C2[27ii](650), C[34](670)) y en afirmaciones posteriores (Cfr. C2[27iv](650), C2[28iv](660), etc).

Hasta aquí, parecería que el "peso" es una típica "fuerza de bajada", posiblemente originada por la fuerza de la gravedad. Pero hay datos que hacen que DAE reconstruya el papel causal que asigna en sus modelos a este candidato causal, como veremos a continuación al hablar del candidato causal "velocidad"

iii) La "velocidad"

La construcción de este candidato causal místico de naturaleza dinámica, podría considerarse un típico ejemplo de "aprendizaje" durante el proceso de teachbak, y también de lo que supone el Principio de Localidad y la tendencia a la simplificación de los modelos causales, en el sentido de su "economía": los candidatos causales se explicitan sólo cuando son necesarios para que sean coherentes y correspondientes. En los otros casos permanecen implícitos, aun a riesgo de que un observador los considere no robustos.

Lo primero que llama la atención es las pocas veces que DAE menciona la "velocidad". Lo hace dos veces en los comentarios al comportamiento del Sistema A (A1[12](090) y A1[G3](090)) y tres veces referidos al Sistema B (B1[G4](320), B2.2[20](360), B2.2[24](390)). En el Sistema C, parte D, no la menciona. En todos estos casos, DAE refiere los cambios de atributo del material en términos de "movimiento", incluso cuando en alguna ocasión ENT pregunte abiertamente por la velocidad (B'0-B2.1[21](360)).

En relación al Sistema C, parte C, el papel de la "velocidad" cambia; la primera vez que la cita (C1[12](520)) la considera ya como un candidato causal. Veamos por qué:

Al explicar el comportamiento del Sistema C en C1 (subida), antes de comenzar el proceso de teachbak, DAE afirma que Zipi "coge mucho más movimiento", (C1[6](480)) afirmación que lleva implícita la creencia de que el movimiento crece en la subida. Esto no sorprende a ENT, pues parece que se trata de un "modelo" muy utilizado por DAE en otras ocasiones, en que, después de recibir un impulso, del tipo que sea, crece el movimiento del material (Cfr. A1.1[7](060), B2.1[18iii](350), A2.1[19](350), etc)).

Esto enfrenta a DAE con la necesidad de "construir" un modelo causal que dé cuenta de este aumento en el valor del atributo del material. Paulatinamente este modelo se va explicitando:

* DAE acaba de afirmar que el movimiento de C1 es de subida. Prosigue el teachbak:

ENT.- "...¿Qué es lo que hace que suba?

DAE.- El impulso de A

ENT.- El impulso de A

DAE.- Sí.

ENT.- Vale... ¿Es más grande el impulso en X... que en A, ... o más pequeño, ... o es igual, o ...?

DAE.- Más grande

ENT.- Más grande en X

DAE.- Que en A.

ENT.- ¿Y cómo ha crecido el impulso?

DAE.- Por la velocidad... Aquí [A] está en velocidad cero. Al darle el impulso aquí, empieza la velocidad a subir, hasta B, que en B se para... y en B empieza a bajar a X..."

(C1[11](510), [11i](510), [12](520)).

Con la explicitación anterior DAE ha conseguido explicar coherentemente y gracias al Principio de Asimetría cómo crece el movimiento: porque crece el impulso; y cómo crece el impulso: porque crece la velocidad. En este momento la "velocidad" se ha convertido en un candidato causal probable.

Funciones de la "velocidad"

La "velocidad" tiene primeramente la función de generar un "impulso" creciente de subida en el Episodio C1. Pero enseguida se aprovechará el modelo causal para explicar el comportamiento del Sistema también en los C'0 y C'1 (Cfr. [15](520)). Pero en este caso, aparece un nuevo problema: La "velocidad grande" (C2[14](520)) que ha generado el "impulso" de subida en C'1, ya no proviene de un primer impulso comunicado al Sistema por un agente exterior (Zape): hay que explicitar un candidato causal probable que lo explique.

De esta manera, se introduce en nuevo candidato causal que actúa en el Sistema C, en las bajadas: la gravedad. Mediante nuevas reconstrucciones, en un proceso lento (desde C2[19](540) hasta la [27](620)) DAE llega a explicar, primero, cómo crece la velocidad en los Episodios de bajada: la "gravedad" actúa sobre el "peso" haciéndolo "caer", y el "peso" provoca un crecimiento de la velocidad en la caída (Cfr. C2[27ii](640) hasta C2[28iii](660)). Esta "velocidad" hace que el "impulso" crezca en la bajada (Cfr. C2[28iv](660)). Y éste será el "impulso" que explicará el Episodio de subida C'1.

Es decir, el candidato causal probable "velocidad" tiene primeramente la función de hacer crecer el "impulso" en C1; tiene también la función de hacer crecer el "impulso" en los Episodios de bajada, C2 y C'2; y por último, no tiene ninguna función en C'1, ni en C1,

porque los modelos causales se reconstruyen (a partir de C2 y C'1[28ii](660)) y ni "impulso" ni "velocidad" crecen en las subidas.

Las relaciones entre "gravedad", "peso", "velocidad" e "impulso" (éste último con las características de una "fuerza suministrada") se articulan, al final del proceso de teachback relativo a este Sistema, en un modelo causal correspondiente coherente y robusto, conseguido gracias a la utilización por parte de DAE del Principio de Asimetría (Cfr. C[33](670) y C[34](670)). En él se sintetiza una explicación de toda la dinámica del Sistema C, parte C, en cada uno de sus Episodios. Aunque en el modelo permanecen convenciones implícitas, que le dejan ambigüedades. Por ejemplo, no se explicita por qué en los Episodios de subida el movimiento va disminuyendo, ni por qué en los C'0 y C''0 llega a pararse, para volver hacia atrás.

iv) El "aire"

El "aire" es un elemento del entorno de los Sistemas, que DAE incorpora al Sistema A en el Episodio A1 como un COMPONENTE dinámico, es decir, como un agente causal dinámico capaz de modificar los atributos del material en ese Episodio.

El "aire" sólo se menciona cuando es necesario un candidato causal probable para explicar la "parada" del material en A1, sin tener que recurrir a la Heurística Canónica. El único modo de hacerlo es explicitar la "acción" del aire, que "impulsa" a la bola en dirección contraria al "impulso" originado en el golpe del ratón que la hacia moverse. (Cfr. A1[15](120), [G5](130), [G5i](130), [G5ii](140)).

Una vez más, se comprueba que *los elementos estructurales de los Sistemas difícilmente se emplean como candidatos causales*.

Función del "aire"

El "aire" juega el papel que tendría un "rozamiento" pero con una salvedad: al ser conceptualizado como un candidato causal *dinámico*, el modelo causal construido es *coherente y correspondiente*, pero sólo puede ser *localmente robusto*: su robustez se limita a los distintos puntos que DAE considera en A1, pues si consideráramos qué pasaría un punto más adelante de C (donde a y b se igualan), al ser ya $b > a$ el sentido del movimiento se invertiría (Cfr. A1[G5ii](140)).

v) La "fricción"

La "fricción" es un candidato causal probable de naturaleza dinámica, que DAE hace explícito ante la necesidad de que en el Sistema B, el "impulso" se anule en B'0-B2, sin

tener que recurrir a la Heurística Canónica (Cfr. B'0-B2[17ii](310)). El COMPONENTE que origina la "fricción" no se explicita, es decir, su origen permanece ímplicito. Aunque su naturaleza sí se describe, utilizándose como referencia el "impulso" del aire:

- "Pues... lo mismo que en la pelota... Para mí también tiene una fuerza... una fuerza para allá y otra fuerza para acá"

(B'0-B2[17iii](310)).

El modelo causal así construido también sirve para explicar que la velocidad disminuya en el Episodio B1. De manera que al introducir este candidato causal, los modelos para B1 y B'0-B2 ganan en robustez. Aunque limitada a estos dos Episodios, ya que en los restantes la "fricción" no "actúa".

Tanto el "aire" como la "fricción" son típicamente postulados desde un razonamiento que procede del efecto a la causa; es decir, utilizando el Principio de Productividad, según el cual todo efecto (parada) es producido por una causa. Dado el efecto, la causa *tiene* que existir.

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

DAE no utiliza otros candidatos causales, estructurales o dinámicos, aparte de los anteriormente citados. Aunque cita como posibles candidatos causales una *pared* (Cfr. C"[28i](650)) que obstruiría la acción causal en el columpio; y una *mesa inclinada* (A2[17](160)), que haría deslizarse por ella un lápiz, en clara analogía con el movimiento de la bola (Cfr. A2[17](160)).

RESULTADOS DEL ANALISIS

SUE explicita su pensamiento con dificultad. Sólo al final del proceso de teachback (Cfr. C1[12](450), D1[3](350)) habla con más soltura. Por esta razón, se utiliza con frecuencia el recurso de la representación gráfica, sobre todo en relación al Sistema A. Representación gráfica que, por otro lado, resulta muy idiosincrática (Cfr. A[G1](010), A2[G8](130), por ejemplo, y todas las relativas al Sistema C). La única alusión a la Física escolar la hace en su definición de "gravedad" (Cfr. A2[13](120)). Aunque luego no utiliza el concepto científico, sino su concepción espontánea acerca de este candidato causal probable.

1. DIVISION EN EPISODIOS

SUE describe el comportamiento de los Sistemas como constituido por los siguientes Episodios:

- En el Sistema representado por el **Comic A**, el Episodio **A0** no es considerado explícitamente; el Episodio **A1**, que primero describe como un movimiento creciente (A1[2](010)), y que luego reconstruye como un movimiento decreciente (A1[10](100)), en ambos casos, mantenido por un candidato causal mítico; el Episodio **A2**, descrito como un movimiento de caída vertical de velocidad creciente, mantenido por una "fuerza" creciente (A2[3](010), A2[G9](140), A2[G10](150)).
- En el Sistema representado por el **Comic B**, describe los Episodios: **B0**, (B0[1](180)); el **B1**, en el que primero considera actuando un sólo candidato causal probable (impulso, mítico) y que más tarde reconstruye incorporando la acción de la "gravedad" (B1[2](180), B1[16](240)); el **B'0-B2**, en el que la flecha da la vuelta con poco impulso, (B'0-B2[7](190), B'0-B2[14](230), etc); el **B2**, en el que la flecha cae con velocidad creciente (Cfr. B2[4](180), B2[18](280)).
- En el Sistema representado por el **Comic C, parte C**, SUE considera los Episodios: **C0**, explicitado en C0[4](340); **C1**, movimiento de subida mantenido por candidato causal mítico; **C'0**, donde el Sistema "casi se para" (C'0[7](430)); el **C2**, movimiento de bajada, provocado por un candidato causal mítico (Cfr. C2[8](430)); el **C''0**, donde el Sistema no se para al caer, sino que sigue (Cfr. C''0[9](440)); el **C'1**, mantenido por un candidato causal mítico (Cfr. C'1[15](450)); el **C'''0**, donde el sistema alcanza su punto más alto y empieza a bajar (Cfr. C'''0[16](450)). Los Episodios **C'2** y **C0(F)** quedan implícitos, englobados en

las explicaciones sintéticas del funcionamiento del Sistema (Cfr. C[2](320)). Todas las trayectorias de subidas y bajadas describen líneas rectas.

- En la **parte D**, SUE describe los Episodios: **D0**, (D[1](470), D[G1](470)); **D1**, con un movimiento de subida que sigue una línea recta, mantenido por un candidato causal mítico (D1[3](500)); **D'0-D2**, donde la trayectoria describe una curva, y actúan dos candidatos causales, la gravedad y el "impulso" (mítico) (Cfr. D'0-D2[3](500)); **D2**, movimiento de caída vertical, con velocidad creciente, mantenido por una fuerza de la gravedad también creciente (Cfr. D2[3](500)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

La utilización de los Principios Causales característicos de una concepción causal ontológica es clara en todas las explicaciones que SUE ofrece acerca del funcionamiento de los distintos Sistemas en todos sus Episodios. Destacamos algunas de las descripciones en las que en el Análisis se han subrayado algunos de estos Principios.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

SUE razona causalmente utilizando con preferencia este Principio en un total de 20 explicaciones a los distintos Episodios. Por ejemplo, en las A1[20](010), A2[G10](150), B1[2](180), B2[15](230), C[2](320), D[3](320), C1[12](450), D0[2](490), D1[3](500), etc. De estas, 8 de ellas se producen antes de comenzar el proceso de teachback.

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

Utilizado por SUE para construir los modelos causales explicativos de los distintos Episodios en un total de 21 ocasiones. De ellas destacamos: A1[5](020), A2[12](120); B1[10](210), B'0-B2[14i](230), B2[18](280); C1[6](400), C'0[7](430), C2[8](430); D1[5](510). Todas estas explicaciones fueron ofrecidas por SUE dentro del proceso de teachback. Lo que supone que el entrevistador utilizó con frecuencia la necesidad de SUE de mantener este Principio, como recurso para que explicitara su pensamiento causal espontáneo.

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

SUE utiliza el Principio de Condicionalidad, explicitando las *condiciones* que permiten explicar que las acciones causales en los Sistemas discurran del modo que lo hacen. Cabe distinguir:

- *Condiciones estructurales*. Por ejemplo: que la *tabla acabe* es condición para que empiece a actuar la fuerza de la gravedad (A2[12](120)); que la *cuerda sea corta y no estire* es condición para que el columpio deje de subir (C[G1](350)); que *Zipi se suelte* es condición para que salga disparado (D[3](320), D1(470), D0[2](490).

- *Condiciones dinámico-estructurales*. Por ejemplo: que la flecha *no le dé al pato*, o que *alcance un determinado punto*, es condición para que empiece a caer (B'0[3](180)); que la *"cuerda" no estire más*, es condición para que el columpio deje de subir (C'0[7](430)).

- *Condicionamientos dinámicos*. Por ejemplo, que se *anule el "impulso"* en A1, es condición para que empiece a actuar la fuerza de la gravedad en A2 (A2[15](170)); que el *"impulso" se acabe*, o sea *casi nulo* es condición para que actúe la fuerza de la gravedad y comience la caída de la flecha (B2[13](220), B'0-B[14](230), B'0-B2[17](260)); que el *"impulso" sea mayor que la fuerza de la gravedad*, es condición para que la flecha suba (B1[16ii](250)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

Se ha destacado la utilización que hace SUE del Principio de Univocidad en los Episodios A1[11](100), A1[11i](100), A2[15](170); B'0-B2[12](220), B'0-B2[14](230), B'0-B2[19](310); C''0[16](450). En todos ellos, para conservar la correspondencia del modelo causal elaborado para explicar el comportamiento del Sistema, SUE se ve en la necesidad de hacer que "cese" el efecto de una causa que anteriormente estaba "actuando", para preservar este Principio. Esto lo consigue recurriendo a la Heurística Canónica, como se verá más adelante.

Es de destacar que en ningún caso SUE utiliza este recurso en las explicaciones espontáneas de cómo funcionan los distintos Sistemas que estamos considerando.

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

Sólamente es notable la utilización por parte de SUE de este Principio en el Episodio C2[14i](450). En él, para preservar el Principio de Productividad, SUE tiene que explicar de donde proviene un candidato causal probable mítico (una "fuerza") que es responsable de que *aumente el movimiento* en la bajada (modelo causal que se hace así correspondiente). Para ello recurre a otro candidato causal mítico, que es una "velocidad", cuyo aumento (mayor movimiento) hace que la velocidad de caída sea grande, y grande, por consiguiente, la fuerza que produce el movimiento. Para evitar esta confusión causa-efecto, SUE está utilizando el Principio de Asimetría.

3. LOCALIDAD

Quizás lo más destacable acerca del uso de la localidad por parte de SUE sea su modo de recurrir al candidato causal probable "gravedad" para explicar el comportamiento de los Sistemas en los distintos Episodios.

Aunque SUE define la gravedad como "una fuerza que tienen los cuerpos, con la que se atraen", en su utilización de hecho, impone restricciones. Así, la gravedad no "actúa" en ningún momento en los Episodios: A0 y A1, del Sistema A; en el B0, del Sistema B; ni en ningún Episodio del Sistema C, Parte C. Pero si "actúa" en A2, del Sistema A; en B1, en B'0-B2 y en B2, en el Sistema B; y en los D1, D'0-D2 y D2 del Sistema C, Parte D. (Cfr., por ejemplo, A0[1](010), A1[5](020), B0[1](010), B0[9](210), C0[4](340), C1[6](400), C'0[7](430), C2[8](430), C''0[9](400), C'1[15](450), C'''0[16](450) y A2[12](120), B1[16](240), B'0-B2[14i](230), B2[18](280), etc).

Esto parece indicar que SUE no considera la "actuación" de la gravedad cuando el material del Sistema está *apoyado* sobre una superficie, con independencia de que esté quieto, o esté moviéndose (Cfr. A0[1](010), A1[5](020), B0[9](210), y cualquier Episodio del Sistema C parte C).

Por esta razón, SUE tiene que recurrir con frecuencia a las distintas convenciones en algunos Episodios, y a postular candidatos causales míticos en otros, para salvar los Principios causales y la coherencia y correspondencia de los modelos causales que utiliza. Subrayamos aquí el uso del Candidato causal mítico "elástico", que "actúa" localmente y sólo en los Episodios C'0, para explicar por qué el material del Sistema deja de subir y cambia la dirección (Cfr. C'0[7](430) y C'0[7ii](520)).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

Todos los *modelos causales iniciales* explicitados por SUE en sus explicaciones espontáneas a los distintos Episodios, presentan la estructura simple

1 causa -> 1 efecto (Constancia)

(Cfr. A1[2](010); B1[2](180), B1[6](190), B2[8](190)).

Superposiciones

Esta tendencia a ofrecer *modelos causales iniciales* de estructura simple, también se observa en las explicaciones dadas al funcionamiento del Sistema C, partes C y D, donde espontáneamente sólo explicita modelos causales con la estructura.

1 causa -> 1 efecto (Constancia)

que explican globalmente el funcionamiento del Sistema, y que suponen una simplificación por superposiciones de los diversos modelos causales que luego se explicitarán para cada Episodio durante el proceso de teachback (Cfr. C[2](320), D[3](320), C[5](340), D[1](470)).

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

Durante el proceso de teachback, se ha explicitado la estructura de los modelos causales que utiliza SUE para explicar el funcionamiento de los Sistemas en 35 ocasiones. De éstas, 26 presentan la estructura simple

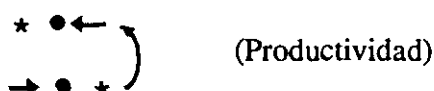
1 causa -> 1 efecto (Constancia)
1 efecto <- 1 causa (Productividad)

Esto implica una gran tendencia en SUE a explicar la dinámica de los Sistemas mediante modelos causales simples, aunque para conservar la *correspondencia* de estos modelos tenga que acudir con frecuencia al Principio de Localidad y a las Convenciones (Amplia y Heurística Canónica: un total de 20 ocasiones).

Ejemplo de explicaciones que presentan esta estructura causal son: A1[5](020), A2[12](120), B1[10](210), B2[13](220), C1[6](400), C'0[7](430), C2[8](430), C'1[15](450), D1[3](500), D2[3](500).

Cadenas causales simples

Sólo en una ocasión (D0[2](490)) SUE explicita una cadena causal simple de estructura:



En ella maneja candidatos causales reales y míticos.

Estructuras causales complejas

Varias causas, un efecto

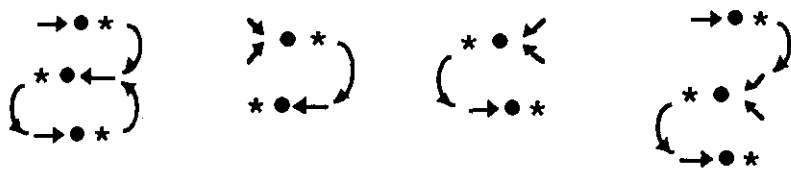
Sólo en 4 ocasiones SUE utiliza modelos causales en los que para explicar un efecto explicita varios candidatos causales. Son estos los ofrecidos en los Episodios B'0-B2[14i](230), B1[16](240), B1[16ii](250), D'0-D2[3](500), de estructuras



En todos los casos se manejan candidatos causales reales y míticos (la "gravedad" y el "impulso", entendido éste como una fuerza suministrada).

Cadenas causales complejas

También en 4 ocasiones (B1 y B2[16i](240), C2[14i](450), D[3](500), D'0-D2 y D2[4](510)) SUE utiliza modelos causales que presentan una estructura de cadena causal compuesta, de estructuras:



En una de ellas se utiliza el Principio de Asimetría (C2[14i](450)), y otra es implícita, pero fácilmente deducible de lo explicitado anteriormente por SUE (B1 y B2 [16i](240)).

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

En las explicaciones a distintos Episodios integrantes de los Sistemas A, B y C, SUE utiliza tanto la *Convención Amplia* como la *Heurística Canónica*, como veremos a continuación.

CONVENCION AMPLIA

En las *explicaciones espontáneas*, siempre la utiliza cuando el Sistema está en *reposo*. Así, en A0[1](010), B0[1](180), C0[1](320), D[1](470), etc. Cuando el Sistema está en

movimiento, la utiliza en A1, y en todo el Sistema C, parte C. En concreto, sabemos que la utiliza, aunque no lo explicita, en relación a la actuación de la fuerza de la gravedad, ya que SUE afirma que es "una fuerza que tienen los cuerpos", sin restricciones (ver comentarios en el apartado de Localidad), pero que estos Episodios no "actúa".

Durante el *proceso de teachback*, sigue utilizándola en los Episodios en que el Sistema está en *reposo*, y en los mismos Episodios A1 y todos los relativos al Sistema C, parte C. Destacamos los B0[9](210), C0[11](450), D'0-D2 y D2[4](510), y otros en los que SUE explicita la Convención. Por ejemplo:

* En el Episodio B'0-B2, en el que la flecha "gira", SUE nunca dice que el Sistema se llegue a "parar", sino que "se mueve un poquito". Para ello, necesita que en ese Episodio exista un impulso, para mantener ese movimiento (Principio de Productividad). Por otra parte, para que caíga "verticalmente" (correspondencia) ese impulso debe "desaparecer" o si existe, debe *no influir*. SUE lo expresa así:

- "[El impulso] ha desaparecido... Uhm... No. Bueno, aquí ha desaparecido, pero porque ya... sí, aquí era poquito, aquí ya no influye para nada" (B'0-B2[19](310)).

* SUE acaba de explicitar que la gravedad está actuando como candidato causal probable en los Episodios D'0-D2, y D2 (Cfr. D'0-D2[3](500) y D2[3](500)). En cambio no la ha mencionado en el Episodio D1. El entrevistador pregunta por qué. La respuesta de SUE:

- "Está actuando, pero el impulso es tan fuerte, que la... la gravedad, aunque actúa, es muy... es de la misma fuerza" (D1[5](510)).

Es decir, la gravedad, aunque "actúa", no ejerce ninguna acción causal en el Episodio, ya que la acción del "impulso" no se ve efectuada por la acción de ningún otro candidato causal ("es la misma fuerza").

* A lo largo de las explicaciones dadas a los distintos Episodios del Sistema C, parte C, SUE afirma en alguna ocasión que la "cuerda" ejerce una acción como candidato causal probable sobre el material, variando los valores de sus atributos (Cfr. C'0[7](430)). El entrevistador recuerda a SUE esta afirmación y le pregunta por la acción de la cuerda cuando el Sistema está en reposo. SUE responde

- "La cuerda aquí, cuando se ha parado en A, pues... *no actúa nada*. Pero aquí, al llegar a B, a simple vista parece que va disminuyendo, y entonces tiene que retroceder para atrás" (C0[i](520) y C'0[ii](520)).

HEURISTICA CANONICA

La Heurística Canónica es utilizada por SUE cuando, para asegurar la correspondencia del Sistema y conservar el Principio de Univocidad, se ve necesitada de que "desaparezca" un atributo del material (a veces considerado simultáneamente atributo del material y candidato causal probable), que formaba parte del modelo causal del Episodio. Son los casos en los que los Sistemas en su evolución atraviesan Episodios en los que se dan cambios en la dirección del movimiento, o quedan parados después de determinados procesos. SUE explicita su uso de la siguiente manera:

* Al preguntarle al Entrevistador qué ha sucedido con los atributos del material en A1, cuando la bola llega a pararse, SUE responde:

- "Pues ya no hay... ni velocidad ni impulso..." "Pues nada, se... Han desaparecido" (A1[11](100)).
- "[Velocidad e impulso] se iban agotando, agotando,... y ya, pues nada..." (A[11i](100)).

* En el Episodio B'0-B2 vimos antes el recurso de SUE a la Convención Amplia. Su utilización de la Heurística Canónica es aún más clara:

- "Como ha sido fuerte el impulso, pues sigue. Y sigue subiendo hasta que llega a B, y ya *no tiene, casi impulso*, y... la gravedad le atrae hacia abajo" (B'0-B2[12](220)).
- "El impulso se le acaba, y ya empieza a bajar" (B'0-B2[14](230)).

Más adelante, SUE explicitará un mecanismo que hará que sus modelos causales de estos Episodios sean más complejos. (Cfr. B'0-B2[14i](230) y ss.), pero que le permitirá mantener la correspondencia y la coherencia del modelo causal sin tener que recurrir a esta Convención.

Aunque al final del comentario acerca del funcionamiento del Sistema B en este Episodio, SUE vuelve a debatirse entre las dos convenciones:

- [El impulso] "*Ha desaparecido...* Uhm... No. Bueno aquí *ha desaparecido*, porque ya..., sí, aquí un poquito, aquí ya no influye para nada" (B'0-B2[19](310)).

* De nuevo SUE para conservar la correspondencia y coherencia de su modelo causal, recurre a la Heurística Canónica en el Sistema C, parte C:

- "Y cuando llega atrás, pues como todavía hay mucha fuerza, porque ha cogido bastante velocidad, pues intenta llegar a C. Y cuando llega, pues *se le acaba el impulso* y vuelve otra vez hacia A, para llegar a B" (C''0[16](450)).

6. CANDIDATOS CAUSALES

PROTOTIPOS

El prototipo de *candidato causal probable* que utiliza SUE parece ser el de una acción física eficaz capaz de *alterar* el estado de un sistema. El prototipo es la "fuerza" del hombre o de otro ser vivo (Cfr. A1[6](030), B1[10](210), B1[10i](210), C1[6](400), etc.) Los otros candidatos causales, reales o míticos, tendrán para SUE las características de una "fuerza", aunque le resulte difícil especificar su nombre o su origen (Cfr. A2[13](120), C2[10](450), C'1[15](450), C''0[16i](460)).

El prototipo de *efecto*, es el de un *cambio* perceptible en la dinámica del Sistema. Esto explica que SUE siempre utilice la Convención Amplia (es decir, no considera localmente la actuación de candidatos causales que sí están presentes en el Episodio) cuando los Sistemas están en reposo (Cfr., por ejemplo, B0[9](210), C0[4](340), C0[i](520)).

La concepción prototípica de "causa" y "efecto" que parece manejar SUE, no agotan el concepto que tiene sobre los mismos. Pero posiblemente condicionará la elección de los candidatos causales más probables a la hora de construir los modelos causales de los distintos Episodios, haciendo que recurra en primer lugar a candidatos causales dinámicos, con perjuicio de los candidatos causales estructurales. Los datos de los análisis parecen corroborar esta afirmación.

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontáneas

Candidatos causales dinámicos

En las explicaciones espontáneas que SUE ofrece acerca del funcionamiento de los Sistemas A, B y C, los candidatos causales explicitados son los "empujes" o "impulsos" que comunican a los Sistemas los agentes exteriores, *ratones* (A1[2](010); *hombre* (B1[2](180), B1[6](190); y *niño* (C[2](320), C[5](340); D[3](320), D[1](470)). Tan sólo en una ocasión se cita como candidato causal probable la "gravedad", en el Episodio B2[8](190).

Llama la atención que de estas 8 explicaciones, cuatro de ellas se refieran al funcionamiento global de los Sistemas. Esto supone que SUE está manejando modelos causales muy simplificados, que engloban en sí muchas superposiciones de Episodios (como explicará más adelante), y que por lo tanto son muy ambiguos.

Candidatos causales estructurales

Los *elementos estructurales* que SUE explicita en sus explicaciones espontáneas son los siguientes: *escoba* y *estantería* (A1[2](010)); *arco* (B0[1](180)); *columpio* (C0[1](320)); "*soltarse*" (D[3](320), D[1](470)). En todos los casos son considerados por SUE como CONDUCTOS, es decir, como *soporte* o *condicionantes* de la acción causal.

Es decir, en los modelos causales iniciales, SUE utiliza exclusivamente *candidatos causales dinámicos*, y ofrece explicaciones muy generales del funcionamiento de los sistemas.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

SUE ofrece un total de 74 explicaciones, referidas a los distintos Episodios de los Sistemas A, B y C. De éstas, sólo en 11 de ellas hace mención explícita de elementos estructurales: *escoba*, (A0[4](020) y A1[5](020)); *borde* y *enganche en la pared* [de la tabla], (A1[G3](020)); *arco*, (B2[10](210) y B1[16ii](250)); *mano* (B1[10ii](220)); *cuerda* (C[G1](350) C'0[7](430), C0[i](520) y C'0[ii](520)); *columpio* (C[G1](350)); *soltarse*, (D0[2](490)).

Escoba, *borde*, *enganche*, *arco*, *mano* y *columpio*, son CONDUCTOS, es decir elementos que soportan o posibilitan la acción causal. La *cuerda* es también considerada como CONDUCTO en C[G1](350) y en C0[i](520). En C'0[7](430) y C'0[ii](520) es considerada como un COMPONENTE, es decir, como un candidato causal que ejerce una acción en el material y le provoca un cambio de valores de atributos. A este candidato causal le vamos a llamar "*elástico*".

i) El "elástico"

El "*elástico*" es un candidato causal probable de naturaleza estructural que SUE utiliza para explicar el comportamiento del material en el Sistema C, parte C, cuando el columpio alcanza los puntos más altos de su recorrido (Episodios C'0 y C''0). Es un candidato causal *mítico* necesario, pues SUE, al no considerar la actuación de la gravedad en esta parte del Sistema, necesita recurrir a algún candidato causal para explicar los cambios en los atributos que el material experimenta en estos Episodios.

SUE nunca define este candidato causal, simplemente lo utiliza. Y lo utiliza con cierta cautela, matizando, como quien intuye la ambigüedad del modelo causal en que lo incluye.

Pero no puede dejar de utilizarlo, porque está en juego la *correspondencia* del modelo causal (en el Sistema real en esos puntos el columpio que subía empieza a bajar) y el *Principio de Productividad* (no hay efecto sin causa).

Origen y funciones de "elástico"

La primera vez que SUE parece hacer alusión a un candidato causal relacionado con que el columpio no siga subiendo, lo hace en C[G1](350). Allí menciona dos *condiciones* estructurales para que ese movimiento de vuelta sea posible:

- "El columpio no puede estirar más, porque la cuerda es corta"

Más adelante SUE vuelve a explicar el Episodio en que se invierte el sentido del movimiento. Refiriéndose al candidato causal probable que provoca que el material "casi se pare" en dicho Episodio, dice:

- "La cuerda parece más pequeña" (C'0[7](430)).

SUE, con cautela ("parece"), indica un candidato causal probable que hace la función que realizaría un elástico (Cfr. C[G1](350)) cuando ha alcanzado su máxima extensión: retraerse y "retroceder", haciéndose "más pequeño". En C'0[ii](520) es más explícita:

- "[la cuerda] aquí, al ir llegando a B, a simple vista parece que va disminuyendo, y... entonces tiene que retroceder para atrás" (C'0[ii](520)).

Pero, realmente, SUE no sabe cómo explicar el origen de este candidato causal. Simplemente, apela a su experiencia:

ENT - "¿Tú has experimentado esto?... ¿Te has dado cuenta de que pasa esto, o...

SUE - Sí

ENT - ... o te lo ha contado alguien?

SUE - No. Lo he pasado.

ENT - ¿Tienes alguna idea de lo que puede ser?

SUE - No, no se me ocurre nada

ENT - Pero tú lo has experimentado.

SUE - Sí.

(C'0[16](450))

Candidatos causales dinámicos

Para explicar la evolución de los Sistemas, una vez puestos en marcha por la acción de los agentes causales exteriores *ratones, hombre, hermano*, SUE recurre a algunos elementos causales, responsables de mantener la dinámica de los mismos en los distintos

Episodios. Además de la "fuerza suministrada", claramente explicitada en varias ocasiones (Cfr., por ejemplo, A1[6](030), B1[11](220), C1[6ii](430), D0[2](490)), SUE utiliza otros candidatos causales, de entre los cuales destacamos los siguientes:

i) La "gravedad" o "atracción de la Tierra"

La "gravedad", casi siempre nombrada así por SUE, "es una fuerza que tienen los cuerpos... con la que se atraen" (A2[13](120)). "La Tierra atrae por la gravedad" (A2[12](120)). Y los cuerpos "tienen una atracción de la Tierra muy chiquita para el suelo" (A2[G8](130)).

En ningún momento esta "gravedad" se relaciona con el "peso" o la "masa" o con la "aceleración de la gravedad", que ni siquiera se menciona a lo largo de toda la entrevista.

El término "gravedad" le resulta familiar a SUE:

ENT - "Y de la gravedad, ¿quién te ha hablado de eso?... ¿O tú lo piensas?"

SUE - Yo de pequeña se lo he oído decir a la gente, y luego mi profesor de naturales nos ha hablado este año" (B2[18ii](290)).

A pesar de la definición tan amplia que SUE explicita, la realidad es que impone "restricciones", en la actuación de la "gravedad". Una de ellas es común a la que se hace normalmente en la Física escolar en los primeros niveles de su enseñanza: sólo considera que la Tierra actúa o ejerce "gravedad" sobre los cuerpos; pero nunca que los cuerpos la ejerzan sobre la Tierra. Aunque pensamos que SUE no aplica en este caso una verdadera restricción, sino que en esta parte de su definición de "gravedad" se limita a repetir lo que le ha enseñado su profesor. Al menos, fuera del Episodio citado nunca más hace mención de una atracción recíproca Tierra-cuerpos, sino sólo de la Tierra hacia los cuerpos. Y aún ésta también con restricciones, como veremos a continuación.

Funciones de la "gravedad"

Como dijimos al comentar el uso del Principio de Localidad por parte de SUE, ésta sólo considera la actuación de la gravedad cuando el material está *libre de apoyo* en cualquiera de los Sistemas. Con una sola excepción: en D1 la gravedad tampoco actúa, porque "aunque actúa", el "impulso de subida es tan fuerte" que su acción puede despreciarse (Cfr.D1[5](510)).

En los Episodios donde su actuación se hace explícita, su función principal es "*hacer caer*" o "*bajar*" a los cuerpos (Cfr. A2[12](120), B2[13](220), B2[15](230), D2[3](500)); en los Episodios donde las trayectorias del material describen un "giro" o una "vuelta", su función es actuar juntamente con el "impulso", explicando que la "caída" *no sea brusca*; en

los Episodios de "subida", su función es explicar el *movimiento cada vez más lento* del material (Cfr. B'0-B2[14i](230), B1[16](240), B1[16ii](250), D'0-D2[3](500)), que sube mantenido por el "impulso". En realidad, es el único candidato causal probable que aparece actuando junto con el "impulso" en todos los modelos causales donde varias causas dan cuenta de un sólo efecto.

Esta función restringida de la "gravedad" posiblemente motive el que SUE tenga que recurrir a candidatos causales míticos para salvaguardar la correspondencia y coherencia de los modelos causales utilizados para dar cuenta del funcionamiento de los Sistemas en algunos Episodios, como es el caso del recurso al candidato causal al que hemos denominado "muelle" anteriormente, y otros que veremos después.

Cuando el cuerpo está cayendo, la función de la gravedad es *mantener el movimiento*. Como el movimiento *crece* en la caída, *la gravedad también crece en la caída* (Cfr. A2[G9](140), A2[G10](150), A2[14](160), B2[18](280), B2[18i](280), D2[3](500)). Esta concepción parece estar ligada al siguiente razonamiento:

Una causa constante produce un efecto constante; si el efecto "crece" la causa también debe "crecer".

Representación gráfica de la "gravedad"

Tan sólo en una ocasión SUE representa gráficamente la gravedad. Aunque la trayectoria que hace describir a los cuerpos en la caída es "una línea recta" (A2[G9](140), B2[G3](300), D[G2](480), su representación es una flecha inclinada, deslocalizada, tanto cuando indica la "gravedad" de la Tierra, como la "gravedad" de los cuerpos (Cfr. A2[G8](130)).

En general las representaciones gráficas de SUE son muy idiosincráticas. A este respecto basta observar sus representaciones: A[G1](010), A2[G7](110), C[G1](350), D[G2](480), etc.

Componentes de la "gravedad"

SUE no considera componentes en la gravedad, ni en ningún otro candidato causal de los utilizados.

ii) La "vuelta"

La "vuelta" es un candidato causal probable que SUE utiliza para explicar el comportamiento del Sistema C, parte C, en los Episodios de "bajada", C2. Al no

"intervenir" en estos Episodios la "gravedad", SUE necesita un candidato causal probable para dar cuenta de los valores del atributo del material durante el recorrido.

SUE no sabe cómo definir este candidato causal:

ENT - "En un punto intermedio, que es S, ¿qué está pasando? ¿Por qué se mueve hacia abajo?

SUE - Pues... Es como cuando tiras un plato de esos que van y luego vuelven. Pero no sé por qué.

ENT - No sabes por qué... No sabes...

SUE - No".

(C2[8](430))

La respuesta de SUE hace sugerir que la naturaleza de este candidato causal es distinta de la del "elástico", pues elude hablar de elementos estructurales. Efectivamente, más adelante SUE le atribuirá la naturaleza de un candidato causal prototípico, es decir de una fuerza:

ENT - "Y... en relación a S, cuando va bajando, ¿cómo es el movimiento aquí?... Más grande, más pequeño...

SUE - Mayor, mayor.

ENT - ... Mayor en A que en S... O sea, que parece que ha crecido, ¿no? ... ¿Qué te parece a ti que hace que ese movimiento crezca?

SUE - Una fuerza"

(C2[10](450))

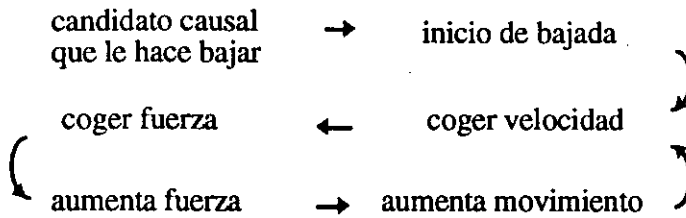
Aunque SUE afirmó que no sabía cómo actuaba esa "fuerza" (Cfr. C2[8](430)), el teachback insiste en su intento de que SUE siga explicitando su pensamiento. Y SUE añade nuevos datos:

ENT - "Una fuerza... ¿Qué fuerza puede ser esa?

SUE - Pues una especie de fuerza que... cuando va... pues el impulso le hace llegar muy lejos, y luego vuelve otra vez hacia atrás.. y cuando llega atrás, *como todavía hay mucha fuerza, porque ha cogido bastante velocidad*, pues intenta llegar hasta C".

(Cfr. C1[12](450), C'0[13](450), C''0[14](450), C2[14i](450)).

Como señalamos en el Análisis, SUE aquí describe un mecanismo que da cuenta del origen de este candidato causal probable al que hemos llamado "vuelta". Se trata de un modelo causal similar al construido por otros sujetos de nuestro estudio, también para dar cuenta del comportamiento del Sistema en este Episodio de bajada (Cfr., por ejemplo, JAE C2[19i](580), OSC C2[22](750), otros:



En el caso de SUE (C2[14i](450)) el candidato causal que inicia la bajada es el "elástico". Y claramente, el candidato causal "vuelta" es una clásica "fuerza de bajada", enunciada inicialmente por SUE de manera bastante original, pero que le sirve para expresar su concepción de que es distinta del "elástico".

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

SUE es muy parca en la utilización de candidatos causales probables. Ya hemos visto con qué facilidad recurre a Convenciones cuando está en apuros y necesita salvaguardar la *correspondencia* de sus modelos causales y los Principios causales pertinentes. De manera que sólo indirectamente SUE utiliza otros candidatos causales, además de los citados. Son los siguientes:

- La "*velocidad*". Es un candidato causal probable de naturaleza dinámica, utilizado únicamente en el Episodio C2 citado anteriormente (C2[14i](450)). Es necesario para explicar el origen de la "vuelta" ("fuerza de bajada") de manera que se preserve la correspondencia del modelo causal y el Principio de Productividad.

- El "*aire*". Es un candidato causal probable de naturaleza dinámica, citado por SUE con el nombre de "soplo" sólo en una ocasión (A1[6i](030)). Es un elemento del entorno del Sistema, que puede realizar el mismo papel que el que juega la fuerza exterior que realizan los ratones para ponerlo en funcionamiento.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CIE

CIE habla con soltura, aunque no es muy explícita antes de comenzar el teachback (Cfr. Sistema B). A pesar de que alude a que algunos de los aspectos de que tratan los comics "lo han estudiado", incluso con el mismo ejemplo (Cfr. A[18](640)), en ningún momento utilizan el conocimiento escolar en sus explicaciones. Estas son una muestra de hasta qué punto las explicaciones al comportamiento de los Sistemas estudiados construidas espontáneamente, pueden estar próximas a las que aportan los modelos científicamente elaborados. Quizá sea el caso más claro de una construcción espontánea preparada para el aprendizaje de los contenidos de la Física tradicional, en relación a estos movimientos, si se planteara adecuadamente la acción didáctica.

1. DIVISION EN EPISODIOS

Los Episodios en los que CIE considera comportamientos distintos en los Sistemas estudiados son los siguientes:

- **Sistema A.** Episodios **A0**, que primero permanece implícito (A0[1](010)), y después se explicita (A0[9](050)); **A1**, considerando como un sólo Episodio en el que "impulso" (mítico) y velocidad disminuyen (A1[5](030)); **A2**, que primero se considera como un sólo Episodio de caída vertical, (A2[3](010)) y que luego se explicita como constituido por dos Episodios, el **A2.1** (movimiento de caída curva), y el **A2.2** (movimiento de caída vertical).

- **Sistema B.** Episodios **B0**, implícito en un principio (B0[1](230)) y explicitado más adelante (B0[5i](340)); **B1**, explicitado primero como un sólo Episodio en que velocidad e "impulso" (mítico) disminuyen (B1[8](360)), y considerado más adelante como constituido por dos Episodios, el **B1.1**, en el que el "impulso" hace subir a la flecha (B1.1[13ii](400)), y el **B1.2**, en el que actúan el "impulso" y la "fuerza de la flecha", y el movimiento de subida es decreciente (B1.2[13ii](400)); **B'0**, en el la flecha "se tuerce" (B'0[3](230)) y se pone horizontal (B'0[G5](300)); **B2**, que primero se explicita como una caída vertical (B2[4](230)), y que más tarde se considera constituido por los Episodios **B2.1**, caída vertical, donde actúa la gravedad (B[G2](250)) y **B2.2**, caída inclinada donde actúan la gravedad y el "peso", (B2.2[G3](280)).

- **Sistema C. parte C.** Episodios **C0**, explícito desde el principio (C0[1](260)); **C1**, o movimiento de subida, explicitado como constituido por los Episodios **C1.1** (en que el "impulso" mítico no varía y la velocidad de subida tampoco) y **C1.2** (en que el "impulso"

decrece y la velocidad de subida también); el C'0, en el que el "impulso" se acaba y el columpio llega al punto más alto de su recorrido (C'0[14](700)); C2, en el que el columpio baja, impulsado por un candidato causal mítico ("fuerza de bajada", "peso") que produce un aumento en el movimiento de bajada (C2[10i](680), C2[G4](780)); C''0, punto más bajo de la trayectoria y donde el movimiento es más rápido (C''0[11](680)); C'1, donde el columpio sube, impulsado por un candidato causal mítico ("fuerza de la flecha", o "impulso del peso"), con velocidad decreciente (C'1[15](700), C'1[26i](800)); C'''0, donde el columpio para momentáneamente y pierde el "impulso" (C'''0[27](820)); C'2, donde el columpio vuelve a bajar, con las mismas características de las descritas en el C2 (C'2[28](820)); y C0(F), donde el columpio se para después de varias oscilaciones, porque se ha agotado el "impulso" (mítico) que llevaba (C0(F)[29](820)).

- **Sistema C. parte D.** Episodios D0, explícito desde el primer momento (D0[1](830)); D1, en el que Zipi sale disparado hacia arriba, describiendo en su trayectoria una línea recta inclinada (D1[G1](830), D1[G6](860)), impulsado por un candidato causal mítico (D1[4](910)); D'0, en el que se agota el "impulso" mítico, y Zipi empieza a caer (D'0[5](910)); D2, movimiento de caída que en un primer momento se conceptualiza simplemente como vertical, motivado por el "peso" y la "gravedad" (D2[6](920)), y que más tarde se explicita como constituido por los Episodios D2.1 (Zipi describe un recodo en su trayectoria, debido a que resta un poco de "impulso" del que había en D'0 (Cfr. D2.1[9ii](930)) y D2.2 (Zipi cae verticalmente, por la acción del peso y la gravedad. Cfr. D2.2[9iii](930)).

2. UTILIZACION DE LOS PRINCIPIOS CAUSALES

La utilización de los Principios Causales por parte de CIE al explicar cada uno de los Episodios en los que considera subdividido el comportamiento de los tres Sistemas que estamos estudiando, denota una concepción causal ontológica. A continuación ejemplificamos el uso de estos Principios en algunos de los Episodios de los que hemos destacado en nuestro Análisis.

PRINCIPIO DE CONSTANCIA

En el Análisis hemos destacado la utilización del Principio de Constancia por parte de CIE en un total de 27 ocasiones: A0[9](050), A2[13i](090), A1[16](210); B0[5i](340), B1[7i](350), B2.1[G7](460); C1.1 y C1.2[8](680), C2[24](780); D0[G7](900), D2.1[9ii](930), D2.2[10](940), etc. De estas ocasiones, 5 se explicitan antes del teachback: A1[2](120), B1[2](230), C[2](620), D[3](620), D0[1](830), D1[G1](830), D[2](840).

PRINCIPIO DE PRODUCTIVIDAD

CIE utiliza explícitamente el Principio de Productividad en un total de 26 ocasiones: A1[7](040), A1[12](070); B1[5](330), B'0[14](410), B2[15](420); C1[17](710), C1.1 y C1.2[19](730), C2[G4](780); D0[3iv](900), D1[4](910), D2[6](920), etc. Sólomente 1 de ellas es anterior al teachback, la relativa al Episodio C[5](650).

PRINCIPIO DE CONDICIONALIDAD

El Principio de Condicionalidad es utilizado con frecuencia por CIE, que explicita *condiciones* para que determinadas acciones causales se lleven a cabo del modo que lo hacen en determinados Episodios. Podrían agruparse en:

- *Condiciones estructurales*. Por ejemplo: que la bola llegue al *borde* de la tabla es una condición para que la bola empiece a caer (A2[3](010), A2[6](030)); la *situación del columpio* y la *forma* en que está colocado, condicionan la trayectoria que sigue después de recibir el impulso de Zape (C1[16](700), C1[17i](710)).
- *Condiciones dinámico-estructurales*. Por ejemplo: que la bola llegue al *final de la tabla* y que el *impulso* haya *acabado* es condición para que la bola empiece a caer (A2.1 y A2.2[G4i](150)); que el *impulso no sea muy fuerte* y que *la tabla sea larga* es condición para que la bola llegue a pararse (A1[15](160)); que *Zipi no este bien agarrado* y que el *empuje* de Zape sea *fuerte* es condición para que Zipi salga disparado (D[8](620)).
- *Condiciones dinámicas*. Por ejemplo: que la *bola* esté *cayendo* es condición para que actúe la fuerza de la gravedad (A2[13i](090)); que el *impulso* sea *mayor que la fuerza que la flecha ejerce* es condición para que ésta suba (B1[5](330), B[7i](350)); que el *impulso* sea *fuerte* es condición para que Zipi salga disparado (C1 y D0[3](880)).

PRINCIPIO DE UNIVOCIDAD

Hemos destacado en el Análisis únicamente las veces en que DAE, para preservar el Principio de Univocidad y la correspondencia del modelo causal que utiliza para explicar el comportamiento del Sistema en el Episodio considerado, debe explicitar que un candidato causal deja de actuar, ya que ha cesado un efecto. En todos ellos, lo consigue recurriendo a la Heurística Canónica. Del total de las 16 ocasiones señaladas en el Análisis (A2[G3iii](120), A2.1 y A2.2[G4i](150); B'0[14](410), B'0[15](410); C'0[14](700), C''0[27](820); D'0[5](910), D2.2[9iii](930), etc.), sólo tres de ellas son anteriores al comienzo del teachback (C0(F)[6](650), D2(840) y D[G2](840)).

PRINCIPIO DE ASIMETRIA

Sólamente hemos destacado en el Análisis los Episodios en los que para evitar la confusión causa-efecto, CIE tiene que recurrir a este Principio Causal. En todos ellos, el modelo causal explicativo presenta una estructura en cadena, en la que se articulan candidatos causales reales y míticos, para conservar la correspondencia del mismo. En todos CIE parece razonar procediendo del efecto a la causa: si se da un efecto, tiene que existir un candidato causal que lo produzca (Principio de Productividad). Así puede verse en los Episodios A1[7](040), A0 y A1[10](060); C2 y C'1[15](700), C2[23](760), C2[23i](770), C2[G4](780), C2 y C'1[26i](800). Ninguno de ellos pertenece a la parte de la entrevista anterior de teachback.

3. LOCALIDAD

CIE utiliza este recurso con soltura, explicitando localmente en cada Episodio los candidatos causales que considera necesarios para conservar la correspondencia y coherencia del modelo causal explicativo del funcionamiento del Sistema en el mismo; y recurriendo a convenciones cuando piensa que los candidatos causales, aunque están presentes en el Episodio, no "actúan".

Por ejemplo, CIE sabe que todas las cosas "pesan" (A1[G6i](180)). Sin embargo, sólo ejercen su acción causal cuando están *cayendo*, ya sea por el aire (A2[14](120), B2[14](410), D2[6](920)), o sujetos de algún modo (C2[24](780)). De manera que no "actúa" cuando el cuerpo está en movimiento horizontal *apoyado* (ejemplo, A1[G7i](200)); ni cuando está *subiendo* en el aire *sin ningún apoyo* (ejemplo, B1[G11i](600), D1[8](920)); ni cuando *el columpio sube* (ejemplo, C'1[15](700), C'1[26i](800)). Del mismo modo, la "fuerza de la gravedad", aunque definida de forma general como una fuerza de atracción con que la tierra atrae a los cuerpos, (Cfr. A2[G3](100)); de hecho sólo "actúa" en los cuerpos que *caen sin ningún tipo de sujeción* (ejemplo, A2[13](090), B2[14](410), B2[6](920)), de manera que no "actúa" en A1, ni en B1, ni en D1, ni en todo el Sistema C, parte C. Y esto, aunque suponga que CIE tenga que recurrir a candidatos causales míticos (por ejemplo, el "impulso del peso" en el Sistema C), o a la Heurística Canónica (también en el Sistema C), para conservar la correspondencia y la coherencia de los modelos causales propuestos. (Cfr. además, A2[G3ii](120), A1[G6](160), B1[8](360), B1.2[13ii](400), D2.1[9ii](930), etc)).

4. ESTRUCTURA CAUSAL

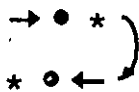
ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS INICIALES

Los *modelos causales iniciales* utilizados por CIE en sus explicaciones espontáneas acerca del funcionamiento de los distintos Episodios que constituyen los Sistemas que estamos estudiando, presentan la estructura causal simple

1 causa -> 1 efecto

(Cfr. A1[2](010), A2[3](1010), B1[2](230), C[2](620), C[5](650), D0[1](830), D1[G1](830)).

En dos ocasiones esta estructura simple se articula con otra, para formar una *cadena simple*, cuya segunda parte no está explicitada. Los modelos causales presentan la estructura



corresponden a las explicaciones dadas a los Episodios D[3](620) y D[2](840).

Del total de estos 9 modelos, sólo dos se construyen utilizando el Principio de Productividad (Cfr. A2[3](010) y C[5](650)). Lo cual sugiere por parte de CIE una cierta tendencia a utilizar el Principio de Constancia (en siete ocasiones de las nueve explicitadas) en los modelos causales iniciales.

Superposiciones

En 3 Episodios de los citados anteriormente se observa que CIE da una explicación global, simplificada, de todo el funcionamiento del Sistema. Son los C[2](620), D[3](620) y D[2](840). Son evidentes *superposiciones* de varios modelos causales, como se ve más tarde por las explicaciones que la misma CIE suministra (Cfr. por ejemplo los modelos causales explicitados para explicar los Episodios C1, C2 y D2). En estas ocasiones CIE procede razonando de la causa al efecto, y *explicitando* sólo *1 causa*, seguida del *efecto* o *efectos* observables a primera vista en el comportamiento del Sistema.

ESTRUCTURA CAUSAL DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS DURANTE EL TEACHBACK

Estructuras causales simples

Una causa, un efecto

De las 51 ocasiones en las que durante el proceso de teachback se han representado explícitamente las estructuras causales de los modelos utilizados por CIE, 25 de ellas presentan la estructura simple

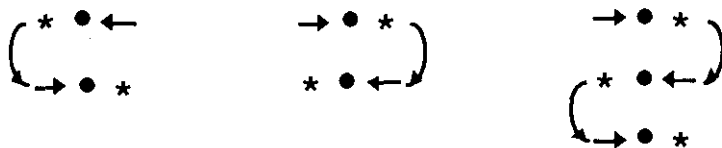
1 causa → 1 efecto (Constancia)

1 efecto ← 1 causa (Productividad)

Esto implica que CIE conserva hasta el final la tendencia a simplificar las explicaciones causales en términos de modelos simples, aunque, como veremos más adelante, su pensamiento causal puede llegar a ser bastante sofisticado. La estructura *una causa → un efecto*, la presentan, por ejemplo, las explicaciones a los Episodios A0[9](050), A1[12](070), A2[13i](090); B0[5i](340), B1[8](360), B1.1[13ii](400), B2.1[G7](460); C1.1[8](680), C1.2[8](680), C'1[26](800); D0[3iv](900), D1[4](910), etc.

Cadenas causales simples

En 5 ocasiones los modelos causales explicitados en el Análisis como representativos la explicación causal dada por CIE al Episodio, presentan una estructura de cadena causal simple de estructuras

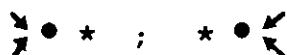


En todas ellas se articulan candidatos causales reales y míticos (Cfr. A1[7](040), A2[13i](090), A1 y A2[G3iii](120); B2[15](420); C2[24](780)).

Estructuras causales complejas

Varias causas, un efecto

La utilización explícita por parte de CIE de varias causas para explicar un efecto, se ha destacado en el Análisis en 10 ocasiones. Son las relativas a las explicaciones dadas a los Episodios A1[G7i](200), A1[16](210), B1.2[13ii](400), B2.2[18ii](500), B2.2[20](560), D2[6](920), D2[7](920), D2.1[9ii](930), D2.2[9iii](930), D2.2[10](940). Las estructuras son del tipo



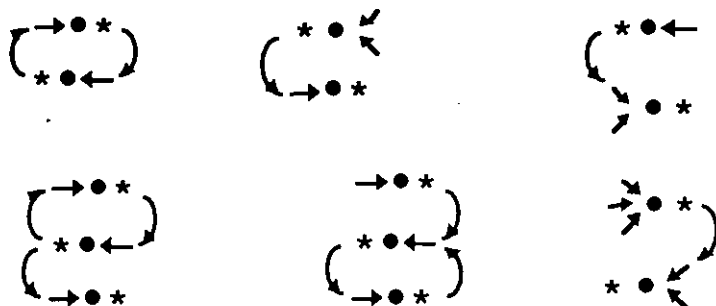
excepto la representativa del Episodio D2.1[9ii](930), que ofrece la estructura



En todos los casos se articulan candidatos causales reales y míticos.

Cadenas causales complejas

En el Análisis se ha destacado la utilización por parte de CIE de estas estructuras causales en 12 ocasiones, relativas a las explicaciones dadas a los Episodios A0 y A1[10](060), A1[G6](160), A1[17i](210), B1[13i](390), B'0 y B2[14](410), C2 y C'1[15](700), C2[23](760), C2[23i](770), C2[G4](780), C2 y C'1[26i](800), C'2[28](820), D2.1 y D2.2[9iv](930). En todas ellas se combinan los candidatos causales reales y míticos, para salvar la correspondencia y la coherencia de los modelos causales, incluso recurriendo para ello en algunos casos al Principio de Asimetría con la introducción de un tiempo mítico (por ejemplo, C2 y C'1[15](700), C2[23](760), etc). Las estructuras encontradas, presentan la forma:



Se observa que las estructuras más complejas se explicitan con más frecuencia al final de la entrevista (de las 11 señaladas, 6 corresponden al Sistema C) y siempre en el proceso de *teachback*.

5. UTILIZACION DE CONVENCIONES

La utilización de convenciones es bastante frecuente por parte de CIE, que recurre con naturalidad y flexibilidad tanto a la Convención Amplia como a la Heurística Canónica cuando lo considera necesario para asegurar la correspondencia y coherencia de los modelos causales que construye para explicar el comportamiento de los Sistemas.

CONVENCION AMPLIA

En la *explicaciones espontáneas*, CIE aplica la Convención Amplia cuando los Sistemas están en reposo: Por ejemplo, en A0[1](010), B0[1](230), C0[1](620), C0(F)[6](650); y también cuando están en movimiento, como por ejemplo, A1[2](010), B1[2](230), C[2](620), C[5](650), D0[1](830), D1[G1](830). En todos los casos se trata de auténticas "convenciones", ya que, por ejemplo, CIE sabe que, al menos, candidatos causales enunciados por ella, que actúan en todos los cuerpos, como la "fuerza de la gravedad", o "el peso", de hecho, no los considera actuando en las circunstancias citadas. Recuérdese aquí los comentarios realizados a este respecto cuando nos referimos más arriba a la Localidad.

Durante el proceso de *teachback*, también recurre a la Convención Amplia en Episodios en que los Sistemas están en reposo, aunque con menos frecuencia (A0[11i](060), C0[7](680)); y en Episodios en los que el Sistema está en movimiento, como son los A0 y A1[10](060), B1[5](330), B1[7i](350), B1[8](360); C1[17](710), C2[23](760), C2[23i](770), C2[25](290), D1[8](920), etc.

En algunos casos, CIE explicita la utilización de la Convención Amplia. Por ejemplo:

- * CIE acaba de decir que en que la flecha suba influye únicamente el "impulso" que recibe (Cfr. B1[15](330), [7i](350), [8](360), [12](370)). El modelo causal así construido es ambiguo, porque para asegurar la *correspondencia* del mismo, CIE ha tenido que explicitar que el movimiento de la flecha disminuye en la subida. De manera que para eliminar la ambigüedad y que el modelo siga siendo correspondiente se ve en la necesidad de explicitar otro candidato causal que dé cuenta de la disminución del movimiento. La explicación de CIE es como sigue:

CIE.- "Hombre, gastándose tampoco, pero, o sea,... Es que, como al subir la fuerza de la gravedad no atrae al cuerpo, pues es más ligero, pero al llegar... No sé, es que no lo sé..."

[Pausa]

A ver... Es que en C [mitad del recorrido de subida] el impulso es como si fuera..., O sea, *ejerce una fuerza en el punto C, la flecha*, para que... vaya más despacio la pelota [la flecha]. Entonces, o sea, ejerce una fuerza contra el impulso. Entonces se va gastando... Bueno, empieza a ejercerla en cuanto la tiran...

ENT.- ¿Siempre?

CIE.- Sí

ENT.- O sea, ¿en C hay más de una fuerza, entonces?

CIE.- Claro. O sea, es que desde el principio... Bueno, *aquí* [primera parte del recorrido] al ser más fuerte el impulso que la fuerza que ella ejerce, *pues vence, como si dijéramos, el impulso. Pero al ir por aquí* [segunda parte del recorrido de subida], *la fuerza de la pelota [flecha] empieza como a resurgir*, a tener como si..., a hacerse fuerte otra vez, *como si dijéramos...* Entonces, *en C ya es como si venciera*, más o menos, y ya empieza..." [a disminuir]

(Cfr. B1[13i](390) y B1[13ii](400). Énfasis añadido)

Adviertase la afirmación sobre la actuación de "la fuerza de la gravedad" en la subida.

En otro comentario es aún más explícita esta convención:

ENT.- "Y en la flecha, dónde actúa? [la fuerza de la gravedad]

CIE.- ¿Cómo que dónde actúa?

ENT.- Sí: ¿le empuja a la flecha así, se mete dentro, tira desde abajo,...? ¿Cómo actúa esa fuerza?...

CIE.- Bueno, sí, actúa para abajo. *Pero empieza a actuar desde aquí*" [señala en el dibujo el punto en que comienza el tramo de bajada]

(Cfr. B2.1[G7](460). Énfasis añadido)

En relación al "peso", también explicita la Convención que realiza: CIE ha explicitado que en la bajada de la flecha actúa "el peso", junto con la fuerza de la gravedad (Cfr. B2[14](410), etc). Pero en ninguna ocasión ha mencionado éste candidato causal en la subida. A punto de terminar la entrevista sobre el Sistema B, la entrevistadora pregunta:

ENT.- "...Hay una cosa que me interesa de este dibujo. Porque aquí [señalando el comienzo de la bajada] empieza el peso, ¿no?, me has dicho. Pero... en esta ocasión [subida], ¿no actúa el peso?

[Pausa]

CIE.- Ehm... Vamos, yo pienso que no.

ENT.- ...En la subida de la flecha.

CIE.- En la subida no actúa el peso.

ENT.- O sea, no pesa la flecha

CIE.- Sí, *pesar sí pesa, pero el peso no actúa*"

(Cfr. B1[G11i](600). Énfasis añadido)

HEURISTICA CANONICA

El recurso a la Heurística Canónica por parte de CIE es bastante frecuente: un total de 16 ocasiones. CIE necesita este recurso cuando para conseguir que los modelos causales sean correspondientes y coherentes, tienen que cesar un efecto, es decir, tiene que anular un atributo del material en el Episodio considerado. Para conseguirlo, es necesario que cese o se anule el candidato causal responsable de dicho efecto, porque de otra manera se violaría el Principio de Univocidad. Así, por ejemplo, utiliza este recurso en las explicaciones a los Episodios A2[G3iii](120), A2.1 y A2.2[G4i](150), A1[17](210); B'0[14](410), B'0<15](420); C0(F)[6](650), C'0[14](700), [20](740), [22](750), C''0[27](820), C0(F)[29](820); D[2](840), D[G2](840), D0[3iii](890), D'0[5](910), D2.2[9iii](930). Advertase que de estas 16 ocasiones, 11 son referidas a Episodios del Sistema C, y de éstas, 3 se producen antes del comienzo del *teachback*.

En algunos casos, CIE explicita la utilización de la Heurística Canónica. Por ejemplo:

- * CIE ha explicitado que el "impulso" que mantiene la subida de la flecha va disminuyendo. La entrevistadora pregunta:

ENT.- Aha... Y ¿qué pasa en D? [final de la trayectoria de subida]

CIE.- Pues en D, que... al llegar, o sea, cuando ya ha llegado a un sitio, que es *como si dijéramos*, se ha parado, o sea, que aunque sea momentáneamente *se ha acabado ya que el impulso*, pues... ehmn... la fuerza de la gravedad... y su peso, o la masa, o no sé, han hecho que baje.

ENT.- O sea, en D, a la fuerza del impulso, ¿qué le ha pasado?

CIE.- O sea, *el impulso que se ha, como si dejéramos, agotado*, y ha empezado..."

(Cfr. B'0[14](410) y [15](420). Enfasis añadido)

- * En el Sistema C, parte C, CIE ha explicado que el columpio, al llegar al extremo de su trayectoria de subida, (Episodio C'0), hace un "paro momentáneo", y vuelve a bajar. ENT le cuestiona:

ENT.- "¿Hay alguna causa, algo que haga que se pare momentáneamente?"

CIE.- Pues que... el impulso no llega más alto.

ENT.- El impulso no llega más alto... Pero ¿hay impulso todavía en B?

CIE.- Sí.

ENT.- Y... ¿por qué no llega más alto?... ¿qué se lo impide?... ¿o no se lo impide nada, solamente porque sí?

[Pausa]

CIE.- No sé... Porque el impulso, al ir cada vez menos, cada vez menos, y quí como casi no queda, vamos, *prácticamente no queda*, o... Entonces se para, y..."

(Cfr. C'0[22](750). Enfasis añadido).

- * Del mismo modo, al explicar cómo Zipi sale disparado en el Sistema C, parte D, CIE afirma que en B (Episodio D0 del Sistema), el columpio se queda parado. ENT se sorprende bastante, ya que es la primera vez que un sujeto aporta esta explicación al Episodio, y sigue cuestionando:

ENT.- "Aha... ¿Y qué hace que se pase en B?

CIE.- Pues que... la fuerza, el impulso que ha recibido, no llega más alto, y ahí se...

ENT.- ...El impulso no llega más alto.

CIE.- No.

ENT.- O sea, ¿en B hay impulso o no hay?

CIE.- No.

ENT.- Cuando sale disparado, ¿eh?, hablo de B, cuando sale disparado.

CIE.- No.

ENT.- No...

CIE.- *Como si dijéramos, se ha agotado*"

(Cfr. D0[3ii](890) y [3iii](890). Énfasis añadido)

CIE, como otros sujetos de nuestro estudio, se siente incómoda con la ambigüedad que supone introducir la Heurística Canónica en un modelo explicativo causal de un Episodio. De hecho, durante el teachback, llega a construir modelos causales que eliminan la ambigüedad en el caso del Sistema A (Cfr. A1[17i](220)), y que pueden llegar a eliminarla en el Sistema B (Cfr. B1.1 y B1.2[13ii](400)). Sólo que en este caso la ambigüedad no se elimina de hecho, porque el mecanismo, explicitado anteriormente, no se hace explícito en B'0). En el Sistema C, partes C y D, acaba el proceso de teachback sin que CIE haya "aprendido" un modelo causal capaz de eliminar la ambigüedad.

OTRAS CONVENCIONES

Señalamos aquí una convención idiosincrática de CIE que consideramos interesante para ilustrar hasta qué punto el pensamiento espontáneo cuida la correspondencia y coherencia de sus modelos explicativos. Consiste ésta en "convenir" que, en determinadas circunstancias, el "peso" de un cuerpo, aunque permanece el mismo, puede considerarse *como si pesara más*, ya que, como candidato causal probable, produce en la dinámica del material del Sistema un cambio que así lo exige, para que se cumplan los Principios Causales, y las condiciones de correspondencia y coherencia en el modelo causal que explica el fenómeno. CIE explicita esta convención en dos ocasiones, que transcribimos a continuación:

CIE.- Contra la... O sea, la fuerza que..., O sea, A ejerce una fuerza para estar quieta... (...).

ENT.- Aha... dices que ejerce una fuerza para estar quieta... ¿Dónde ejerce esa fuerza?

CIE.- Sobre la madera

ENT.- ¿Tú me la podrías representar de algún modo, esa fuerza?

CIE.- ¿Cómo?

ENT.- Tú dices: "se ejerce sobre la madera". Me lo acabas de decir, ¿no?

CIE.- O sea, no es que haya fuerza, si no que... para no moverse, ... o sea, *tiene unas fuerzas que le hacen que esté quieta, que no se mueva.*

ENT.- Aha... Tú no sabrías cómo representarla, no se te ocurre...

CIE.- Pues no".

(Cfr. A0[9](050), [11](060) y [11i](060). Énfasis añadido).

Aunque CIE esté empleando la palabra "fuerza", por lo que antes hemos dicho acerca del prototipo de agente causal, es claro que no se trata de una "fuerza", ya que su efecto no es prototípico, sino simplemente el "estar quieta", "no moverse".

CANDIDATOS CAUSALES MAS PROBABLES

En las explicaciones espontáneas

Candidatos causales dinámicos

En sus explicaciones espontáneas, los candidatos causales utilizados por CIE para dar cuenta del comportamiento de los Sistemas en los diversos Episodios son las fuerzas ("impulso", "empujar", "tirar") que los agentes externos, *ratones, hombre y hermano* (Cfr. A1[2](010), B1[2](230), C[2](620), D[3](620)) realizan sobre los Sistemas, y que les ponen en movimiento. Este movimiento se mantiene gracias a "impulsos" (fuerzas míticas), generados en las anteriores, y que poseen las características de "fuerzas suministradas" (Cfr. C[5](650), D0[1](830), D1[G1](830), D[2](840)).

Sólo en una ocasión se expresa "la fuerza de la gravedad" para dar cuenta de un Episodio de caída o bajada (Cfr. A2[3](010)). En los otros casos los candidatos causales permanecen implícitos (Cfr. B2[4](230), D[3](620), D[2](840)).

Candidatos causales estructurales

CIE incluye *elementos estructurales* en sus explicaciones espontáneas sobre el funcionamiento de los Sistemas. Así, el *borde de la tabla* (A2[3](010), la *escoba* (A[G1](010)); el *columpio* (C0[1](620), C0[4](650), C0(F)[6](650), D[2](840)), el *árbol* al que el *columpio* está agarrado (C[G1](650)).

En todos los casos, estos elementos estructurales son considerados como CONDUCTOS, es decir, como constituyentes del Sistema que soportan o condicionan la acción causal, sin modificar los valores de los atributos de los materiales.

Puede, pues, afirmarse que los únicos candidatos causales que CIE utiliza para construir los modelos causales iniciales son los *dinámicos*. Los elementos *estructurales* se consideran exclusivamente como CONDUCTOS.

Durante el proceso de teachback

Candidatos causales estructurales

Del total de 112 explicaciones que CIE ofrece durante el proceso de teachback, solamente en 12 de ellas cita elementos estructurales. Estos son: la *escoba* (A1[7](040), A0 y A1[10](060)); *otras cosas* (para golpear como la escoba) (A1[8](050)); la *tabla o madera* (A0[9](050), A0[11](060)); el *borde o final de la tabla* (A1[5](030), A2[6](030), A2.1 y A2.2[G4i](150)); el *arco o la mano* (B1[7](350)); la *situación del columpio* y su forma de colocación C1[16](700); el *columpio* (C1.1 y C1.2[19](730), D0[3i](890)).

En todos los casos CIE considera a estos elementos estructurales como constituyentes que únicamente *condicionan, posibilitan o soportan* la acción causal, sin producir ningún cambio en los valores de los materiales de los Sistemas. Es decir, los considera exclusivamente como CONDUCTOS.

Candidatos causales dinámicos

Cuando los distintos Sistemas se han puesto en funcionamiento por la acción de los agentes causales exteriores, *ratones, hombre y hermano*, el comportamiento de los mismos en los distintos Episodios es explicado por CIE mediante una serie de candidatos causales probables, de naturaleza dinámica, que son los que explican los cambios que experimentan los atributos de los materiales en los distintos Episodios. Además de la "fuerza suministrada", que no comentamos, pero que aparece en todos los Sistemas (Cfr., por ejemplo A1[5](030), A1[7](040); B1[7i](350), B1[8](360); C1.1 y C1.2[8](680); C1 y D0[3](880), etc.), destacamos las siguientes:

i) "Fuerza de la gravedad"

La "fuerza de la gravedad", es un candidato causal probable de naturaleza dinámica al que CIE considera actuando en Episodios de los tres Sistemas, para explicar sus comportamientos.

La fuerza de la gravedad la produce "la Tierra" (A2[G3i](110), y su efecto es *"atraer, para que vaya [el cuerpo] más rápido"* (A2[13i](090)). La atracción se realiza *"por abajo"*, como si la Tierra *"estuviera absorbiendo"* al cuerpo para abajo (A2[G3](100)), *"como si tirara"* o *"como si agarrara"* al cuerpo por debajo (B2.1[G8](460)) para hacerle bajar.

Presenta las características de un candidato causal prototípico: varía los valores de los atributos del material en Episodios de caída (A1 y A2[G3iii](120), B2[15](420), B2.1[G7](460)); se compone con otros candidatos causales que también se conceptualizan como "fuerzas" (Cfr. B'0 y B2[14](410), B2.2[18ii](500), D2[6](920), D2[7](920), D2.1[9ii](930), D2.2[10](940)).

CIE impone una restricción a la actuación de la fuerza de la gravedad: en la subida "no atrae al cuerpo" (Cfr. B1[13i](390)). Pero en realidad utiliza también otras restricciones: la gravedad *no actúa* en ningún caso cuando el cuerpo está *apoyado* (Episodio A1), o *suspendido* (toda la parte C del Sistema C). A este respecto conviene recordar aquí lo apuntado en el apartado **Localidad** en relación a la actuación de este candidato causal.

Funciones de la "fuerza de la gravedad"

La primera vez que CIE se refiere a la "fuerza de la gravedad", le atribuye la función de "hacer caer" a los cuerpos (Cfr. A2[3](010)). Pero durante el proceso de teachback, esta función se matiza, y más que "hacer caer" se le atribuye la función de *mantener el movimiento de caída*, una vez que ya el cuerpo ha empezado a caer.

En algunas explicitaciones de CIE esta conceptualización aparece clara. Por ejemplo:

ENT.- "¿Qué cosas están influyendo en que se caiga la bola?"

CIE.- Pues, *primero el impulso que recibe en A, y luego...*, o sea, la fuerza de la gravedad que lo atrae.

ENT.- ¿El impulso es FA también?... Porque me has dicho...

CIE.- Sí... Osea, el impulso que recibe en el principio, sí... Y *luego* la fuerza de la gravedad que lo atrae, y...

ENT.- ... La fuerza de la gravedad..., Fg.

CIE.- Claro... Sí, la fuerza de la gravedad, claro.

ENT.- ¿Cómo estaría actuando Fg?...¿Cómo actúa para que se caiga eso?

CIE.- Pues *al caer, le atrae para que vaya más rápido.*

(...)

ENT.- ¿Y en D [bola ya cayendo] está actuando esa flecha roja? [FA, impulso horizontal]

CIE.- No.

ENT.- No...

CIE.- ... Bueno ... No ... Bueno, o sea, ... O sea, la FA, o sea, ... la fuerza ... el impulso que recibe ... actúa para que se caiga, pero *en el momento en que empieza a caer*, ya... *cae* por propio..., o sea, *por su propia fuerza*, y *porque le atrae* ... la fuerza de la gravedad".

(Cfr. A2[13](090) hasta A2[G3iii](120). Énfasis añadido).

Como se ve por estas expresiones, CIE está buscando un candidato causal probable que "haga caer" a la bola, para hacer posible la actuación de la gravedad, que se encargaría de atraerla, para que fuera más rápida en la caída. Al darse cuenta de que el "impulso" no puede hacerla caer, porque es horizontal (el modelo así construido no sería correspondiente), recurre a otro candidato causal mítico, la "fuerza propia", que explicaría el comienzo de la caída. (Cfr. A1 y A2[G3iii](120)). Esta misma conceptualización se mantiene en el Sistema B (Cfr. B[15](420)), y, con otros candidatos causales, en el Sistema C (Cfr., por ejemplo, C2[G4](780)).

Al tener la función de mantener la caída, y dado que el movimiento de caída *crece*, CIE explicita que "la fuerza de la gravedad, cuanto más cerca está de la tierra, más fuerte es" (B2.2[20](560)), ya que parece convencida de que una variación en el efecto presupone una variación en la causa que lo provoca.

Cuando *la caída no es vertical*, no basta la fuerza de la gravedad para explicar el comportamiento del material en los Episodios. Por esta razón, en los Episodios de caída del Sistema B actúan la fuerza de la gravedad y el "peso" en el tramo no vertical (Cfr. B2.2[18ii](500) y [20](560)). Más adelante, después del "aprendizaje" experimentado por CIE al explicar el Sistema C, parte C, CIE atribuirá también una función al "peso" en la caída vertical, y actuará conjuntamente con la gravedad en los Episodios de caída vertical del Sistema C, parte D (Cfr. D2.2[9iii](930) y D2.2[10](940)).

Representación gráfica de la "fuerza de la gravedad"

CIE representa la "fuerza de la gravedad" en primer lugar con una flecha grande vertical que señala a la superficie de la Tierra (Cfr. A2[G3](100) y B2[G6](450)). Esta representación deslocalizada y las expresiones ambiguas de CIE hacen en el teachback se insista en la representación. Al preguntársele si actúa *en* la flecha, CIE vuelve a representarla deslocalizada, con una flecha *entre* las flechas en el tramo vertical, y advierte que sólo actúa en la bajada (Cfr. B2.1[G7](460)). Más adelante explicita y señala gráficamente la actuación de la fuerza de la gravedad *en la parte inferior de la flecha vertical*, indicando que su actuación es como si tirara de la flecha desde esa parte hacia abajo (Cfr. B2.1[G8](460)). Por último, señala *la dirección* en la que actúa en la parte de caída no vertical, con una flecha deslocalizada, vertical hacia abajo, rotulada con una G. (Cfr. B2.2[G10](530)).

En el Sistema C, parte C, no la representa, puesto que no "actúa". En la parte D de este Sistema tampoco la representa.

Componentes

En ningún momento CIE considera la posibilidad de que la "fuerza de la gravedad" pueda descomponerse en otras fuerzas. De ahí la necesidad de que en determinados Episodios, donde la Física clásica daría cuenta del comportamiento del Sistema utilizando esta descomposición de fuerzas, CIE tenga que recurrir a candidatos causales míticos, que expliquen la variaciones que experimentan los valores del material de dichos Episodios. Cfr., por ejemplo, todo el comportamiento del Sistema C, parte C.

Relación con otros elementos

En ningún momento CIE relaciona la "fuerza de la gravedad" con el "peso" o "la masa". En una ocasión dice del "peso" y de la "fuerza de la gravedad" que están relacionados, porque los dos "hacen bajar", aunque afirma que son distintos (Cfr. B2.2[18](480) y [18i](490)).

ii) La "fuerza propia"

La "fuerza propia", o "fuerza ejercida" es un candidato causal probable de naturaleza dinámica que SUE considera actuando casi exclusivamente en Episodios de los Sistemas A y B. Tiene las características de un candidato causal prototípico: su actuación modifica los valores de los atributos de los materiales, y puede actuar junto con otras "fuerzas", para dar cuenta del comportamiento dinámico de los Sistemas.

Funciones de la "fuerza propia"

Cuando el material del Sistema está *quieto y apoyado*, la "fuerza propia" le hace *estar quieto* (Cfr. A0[9](050), A0[5i](340)). En estas circunstancias, esta "fuerza" no actúa propiamente, precisamente porque su "efecto" no es el de alterar los valores del material. (Cfr. A0[11](060)).

Cuando el material está *moviéndose apoyado sobre una superficie horizontal*, se da un proceso de "aprendizaje" acerca de su actuación, que se va perfilando a medida que se necesita para que los modelos cuasales del Episodio sean correspondientes y coherentes. Así, en A1[10](060), no se considera su actuación. Pero más adelante, cuando se explicita en el modelo que el movimiento disminuye (A1[12](070), y que llega a pararse (A1[G6](160)), *actúa* en todas partes, *oponiéndose al movimiento* (Cfr. A1[G7](190),

A1[G7i](200)), constituyendo una especie de "resistencia" al mismo (A1[16](210), A1[17i](220)).

Cuando el material esta *moviéndose verticalmente hacia arriba*, la condición para que pueda iniciarse ese movimiento es que la "fuerza" que impulsa al material sea mayor que la "fuerza que el material ejerce" (Cfr. B1[5](300), B1[7i](350)).

En la subida esta "fuerza ejercida" actúa en todas partes, en dirección contraria al impulso. Aunque de hecho no "actúa" en B1.1 (Cfr. B1.1[13ii](400)) y sí en B1.2 (Cfr. B1.2[13iii](400)) donde es necesaria su actuación para que el modelo causal del Episodio sea correspondiente y coherente, ya que el movimiento en este tramo de la subida disminuye.

Por último, la "fuerza propia" también actúa en el momento de empezar a bajar, siendo su función precisamente *hacer que empiece la bajada*, posibilitando la actuación de otros candidatos causales (Cfr. A2[G3iii](120), B'0 y B2[15](420), C2[15](700)).

Podría decirse que fundamentalmente (aunque no exclusivamente) CIE atribuye a la "fuerza propia" las funciones que cubriría una "fuerza de rozamiento". Como no dispone de esta categoría en términos físicos, tiene que crear un candidato causal mítico para conseguir la correspondencia de los modelos explicativos de estos Episodios.

Origen de la "propia fuerza"

CIE explicita en varias ocasiones, siempre a requerimientos de ENT, el origen de este candidato causal. La primera vez que lo hace se expresa así:

ENT.- ¿Qué es eso de su propia fuerza?

CIE.- Pues *la fuerza que... tiene* la ..., o sea, la pelota.

ENT.- O sea, la pelota, ella sola, tiene una fuerza.

CIE.- Sí... Bueno,... *la masa* que tiene, pues la... *hace* que baje.

ENT.- Aha... la masa es como si fuera otra fuerza que le hace bajar.

CIE.- Sí, claro, *su peso* vamos.

ENT.- O sea, que la masa...

CIE.- ...o el peso, *hace* que baje

ENT.- La masa, o el peso... Y eso es como si fuera otra fuerza.

CIE.- Claro. *La fuerza que le hace...* claro.

(A2[14](120). Énfasis añadido).

En las otras ocasiones (A1[G6i]9180), [G7](190),[G7i](200)) se mantiene esta convicción del origen en el "peso" o "masa" del material considerado.

iii) El "peso"

El "peso" es otro candidato causal probable, de naturaleza dinámica, que CIE introduce en los modelos causales de los Episodios de bajada de los Sistemas B y C, para conseguir que sean correspondientes y coherentes.

En un principio lo nombra indistintamente con el nombre de "peso" o "masa". Pero a medida que avanza la entrevista, sólo se nombra como "peso".

Funciones del "peso"

En el Episodio de caída del Sistema A, el "peso" no actúa. A CIE le basta con un candidato causal, la fuerza de la gravedad, para conseguir la correspondencia y la coherencia del modelo causal que explica el comportamiento del Sistema en este Episodio. (Cfr. A2[3](010) y A2[G3iii](120)).

Pero en el Episodio de caída del Sistema B las cosas aparecen más complicadas ya que la trayectoria que recorre la flecha no es vertical, sino que posee un tramo vertical y otro inclinado (Cfr. B[G2](250)). La dificultad que explicar esta caída supone para CIE queda patente en sus explicaciones espontáneas, en las que no ofrece ningún modelo causal articulado para estos Episodios de bajada. Es entonces cuando se introduce por primera vez el candidato causal "peso" o "masa" actuando junto con la gravedad para *hacer caer la flecha* (Cfr. B'0 y B2[14](410)). En este caso se le asigna además la función de explicar por qué la flecha *tuerce su trayectoria* en la bajada (Cfr. B2.2[19](520), B2.2[19i](520)). Como además, la velocidad aumenta en la bajada, el "peso" también "aumenta", consiguiendo de este modo que el modelo causal sea coherente (ya que CIE piensa que si varía el efecto la causa debe variar).

En el Sistema C, parte C, el "peso" mantiene las mismas funciones que en el Sistema B, en sus Episodios de bajada: *hacer bajar* y explicar el *cambio de dirección de la trayectoria* en la bajada (Cfr. C2[24](780), [G4](780), [26i](800)).

En el Sistema C, parte D, aunque considera que la bajada es vertical, vuelven a actuar conjuntamente, para *hacer bajar*, el "peso" y la "gravedad" (Cfr. D2.1[9ii](930), D2.2[9iii](930) y D2.2[10](940)).

En relación a las funciones, resulta notable la distinción que hace CIE entre "peso" y "fuerza ejercida". Quizá se deba a la resistencia que CIE tiene a considerar que el "peso" actúe en las subidas (Cfr. B1[G11i](600)), aunque obviamente las cosas que suben *pesan*, como las que caen.

Origen del "peso"

CIE no explicita el origen de este candidato causal. Como hemos dicho anteriormente, a veces lo nombra como "masa", posiblemente relacionando ambos nombres con motivo de algo oído en clase. No lo relaciona con la "fuerza de la gravedad", incluso cuando ENT le pregunta directamente por esta relación (B2.2[18ii](500)).

Representación gráfica

En el sistema A, CIE no representa gráficamente este candidato causal, aunque ENT se lo sugiere (A1[G7](190)). En el Sistema B, CIE representa el peso actuando *en el interior de la flecha* expresando esta acción con un *relleno* de la silueta de la flecha (Cfr. B2.1[G9](500)), y actuando en la trayectoria de bajada, con una pequeña flecha inclinada paralela a la trayectoria y rotulada con una P. Del mismo modo la representa en el Episodio de bajada C2, del Sistema C, parte C: con una flecha paralela a la trayectoria de bajada, rotulada con una P. En la trayectoria de subida de este Sistema, aunque vuelve a representar una flecha con el rótulo P, advierte que en este caso se refiere no al "peso", sino al "impulso del peso", que es el que hace subir al columpio.

La representación gráfica de la acción del "peso", es, pues, bastante coherente con las funciones que CIE adjudica a este candidato causal.

iv) "Fuerza del parón"

La "fuerza del parón" es un candidato causal probable de naturaleza dinámica que CIE considera actuando en el Sistema C, parte D, en el Episodio de subida, D1.

En un principio, CIE considera que podía explicar este Episodio recurriendo a un "impulso fuerte" del hermano, que hacía que Zipi saliera disparado (Cfr. C1 y D0[3](880)). Pero más adelante, considera más coherente seguir con el modelo explicitado anteriormente para C'0, donde el "impulso" de Zipi se agotaba para volver a bajar (Cfr. D0[3ii](890) y D0[3iii](890)), y por lo tanto este candidato causal probable se hace necesario para dar cuenta del comportamiento del Sistema con un modelo causal correspondiente y coherente.

Funciones de la "fuerza del parón"

La "fuerza del parón" hace que Zipi *salga disparado* verticalmente hacia arriba, y la única responsable de *mantener el movimiento* en el Episodio D1, ya que en este Episodio no actúa ni la "fuerza de la gravedad", ni el "peso", ni la "fuerza ejercida" (Cfr. D0[3iv](900), D0[G7](900), D1[4](910)).

CIE, pues, atribuye a la "fuerza del parón" las funciones que otros estudiantes avanzados atribuirían a una "fuerza de inercia" mítica.

7. OTROS CANDIDATOS CAUSALES

CIE no utiliza otros candidatos causales además de los anteriormente señalados.

ABRIR PARTE III

